Sommario

1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI DELLA TESI

Il Porto di Livorno gode di una posizione strategica nell'area dell'alto Mediterraneo, tanto da essere definito la "porta a mare della Toscana". Nel corso degli anni ha subito varie trasformazioni al fine di rispondere al meglio alle mutevoli esigenze del mercato: ciò gli ha consentito di registrare un aumento notevole dei volumi di traffico, soprattutto di quello dei container. Un ulteriore aumento del traffico è previsto a seguito della concretizzazione del progetto della Piattaforma Europa: un intervento di ampio respiro che riconoscerà sicuramente al porto di Livorno un ruolo di primaria importanza nel panorama dei porti Europei. In particolare, all'interno di questo progetto di sviluppo sarà possibile per il Porto di Livorno acquisire parte della domanda di traffico portuale che si formerà nell'area dell'Alto mediterraneo. Ciò, naturalmente, sarà possibile solo se riuscirà ad adeguare la propria offerta alla crescente domanda, sia in termini quantitativi che qualitativi e se riuscirà a dotarsi di infrastrutture stradali e ferroviarie adeguate a smaltirlo: pertanto, il potenziamento del Porto di Livorno, nell'ambito della suddetta piattaforma, si dovrà necessariamente accompagnare e coordinare al corrispondente adeguamento dei servizi lato terra sia su ferro che su gomma.

Il Piano Regolatore Portuale (di seguito anche P.R.P.), approvato con delibera del Consiglio Regionale Toscano n°36 del 25/03/2015, riporta lo scenario relativo allo sviluppo del traffico totale (sbarchi + imbarchi, TEU) suddiviso per quinquenni, dal 2020 al 2040, espresso in unità: dalla consultazione del suddetto prospetto si evince che si assisterà, negli anni, ad un progressivo aumento dei traffici fino ad arrivare nel 2040 anno in cui è previsto che il Porto triplicherà il volume di traffico rispetto a quello dell'anno 2020. Tali risultati sono evidenziati nella tabella successiva:

ANNO	TRAFFICO TOTALE PORTO LIVORNO (SBARCHI + IMBARCHI, TEU)
2020	1.060.308
2025	1.382.190
2030	1.801.789
2035	2.348.766
2040	3.061.793

Tabella 1 Sviluppo di piano del traffico totale

Altro interessante prospetto presentato dal suddetto documento è quello relativo alla ripartizione del traffico container tra i diversi modi di trasporto:
se è vero che si assisterà, negli anni, ad un aumento percentuale del volume trasportato via ferrovia (che passerà dal 18% al 30% negli anni 2020/2040) e, contestualmente, ad una progressiva diminuzione di quello trasportato su strada che, nello stesso arco temporale, passerà dall' 80% al 60%, è anche vero che se la situazione si esamina in termini di valori assoluti, il trasporto su strada rimarrà la modalità prevalente rispetto alle altre, con un numero di movimentazioni che raddoppierà nel ventennio in esame. Tale ripartizione viene evidenziata nella tabella seguente:

ANNO	QUOTA MODALE DELLA FERROVIA [%]	QUOTA MODALE DELLA STRADA [%]	QUOTA MODALE DELLA VIA D'ACQUA [%]
2020	18%	80%	2%
2025	21%	75%	4%
2030	24%	70%	6%
2035	27%	65%	8%
2040	30%	60%	10%

Tabella 2 Ripartizione del traffico tra le diverse modalità

Da quanto detto, si intuisce facilmente che lo studio delle infrastrutture di trasporto di terra deve andare oltre l'ambito portuale, interessando zone esterne al perimetro del porto, di natura urbana e suburbana che sono sede prevalente di insediamenti residenziali e di servizi. In tali contesti, gli spostamenti e i flussi veicolari di tipo produttivo sia commerciale che industriale afferenti al porto si sommano e si sovrappongono a quelli urbani ed extraurbani non portuali.

Si ritiene importante sottolineare che le suddette previsioni assegnano alle vie d'acqua delle quote sempre maggiori di container movimentati, a significare il fatto che esse stanno assumendo sempre maggiore rilievo grazie anche alla localizzazione dei centri intermodali ubicati nelle zone interne della Regione (Interporto "A. Vespucci" di Guasticce, Autoparco "Il Faldo" di Collesalvetti ecc.).

La presente tesi, in seguito all'entrata in vigore del Piano Regolatore Portuale ed alla luce delle numerose criticità precedentemente evidenziate, analizzerà un ampio progetto di cui fanno parte: il prolungamento della via Federigo Enriques con il conseguente collegamento della stessa allo svincolo della S.G.C. FI-PI-LI, l'adeguamento dell'attuale via Leonardo da Vinci a strada con funzioni esclusive portuali, il raddoppio, tramite un nuova tracciato, della stessa per continuare a svolgere ed adempiere agli scopi attuali e l'adeguamento del binario ferroviario prospiciente alla stazione di Calambrone che continuerà a collegare i vari terminal con la stazione stessa.

La presente tesi si inserisce a pieno titolo nel contesto dello studio delle infrastrutture stradali, presentando una vasta soluzione progettuale, di cui fa parte il tanto atteso prolungamento della via comunale Federigo Enriques, con la quale si raggiunge l'importante obiettivo di creare un collegamento diretto tra la zona industriale del Picchianti e, quindi la via Aurelia, con lo svincolo "Livorno centro" della S.G.C. FI-PI-LI da dove è possibile raggiungere sia le zone portuali che quelle dell'entroterra, nonché il litorale tirrenico.

Della medesima proposta progettuale, fa parte il raddoppio con un nuovo tracciato e l'adeguamento della via Leonardo da Vinci, volta a razionalizzare gli accessi e a migliorare le condizioni di transito nelle aree limitrofe al Porto. La soluzione proposta agisce, in particolare, su un aspetto critico della circolazione stradale peri portuale e sulla penetrazione all'interno di tale area, ossia consente di alleviare la commistione tra diverse tipologie di traffico, leggero (proveniente e/o diretto alla vicina città di Livorno) e pesante in transito dal Porto. Contribuisce al raggiungimento di questo obiettivo anche la proposta di realizzare un tratto di pista ciclabile in affiancamento al tracciato di variante: questa proposta è, in parte, mutuata da un progetto definitivo

redatto dal Comune di Livorno, ma come spiegato nel dettaglio più avanti, presenta una rettifica nel tratto oggetto d'intervento per adeguarla in maniera ottimale alla presente proposta di tesi.

Infatti, con la realizzazione della variante (che si inserisce in aderenza ai confini della zona doganale del porto), si fa in modo che l'attuale via Leonardo da Vinci sia dedicata completamente ai mezzi impiegati nelle attività in ambito portuale realizzando, pertanto, una netta distinzione con le altre tipologie di flussi di traffico veicolare. Un altro vantaggio della proposta progettuale è quello di razionalizzare l'ingresso dei mezzi alle attività portuali: oggi, infatti, molte Aziende che operano nel porto possiedono un proprio accesso sull'attuale via Leonardo da Vinci. Con la proposta progettuale, invece, vi saranno solamente tre accessi alla viabilità portuale, tramite i quali ciascun mezzo raggiungerà le rispettive destinazioni ubicate sulla via Leonardo da Vinci: grazie a questa modifica la viabilità portuale (cioè la via Leonardo da Vinci) farà da filtro tra la quella urbana ordinaria e gli ingressi al porto. Questi tre accessi sono distribuiti in maniera uniforme, in quanto si trovano uno nella zona Sud, in prossimità del torrente Ugione (vicino al varco Zara); un altro si trova in zona centrale con entrata direttamente dallo svincolo della Strada di Grande Comunicazione Firenze-Pisa-Livorno (di seguito anche S.G.C. FI-PI-LI oppure FI-PI-LI); mentre, l'ultimo si posiziona nella estrema zona Est, dove attualmente insiste il Terminal Paduletta.

Questa soluzione consentirà anche di censire i mezzi in transito da e per l'area portuale, mediante l'installazione di apposite barriere elettroniche, peraltro già previste dall'Autorità portuale di Livorno all'interno del Piano Regolatore Portuale. Inoltre, conseguenza diretta di quanto detto è che si creeranno le condizioni per razionalizzare anche la circolazione veicolare all'interno delle aree portuali, in quanto l'attuale via Leonardo da Vinci risulterà essere la strada principale, una sorta di circonvallazione, su cui si affacciano gli accessi e si dipartono le vie secondarie dirette all'interno dell'area portuale. Notevoli sono anche i vantaggi per la circolazione urbana: potenziale diminuzione degli incidenti e della loro gravità dovuti, soprattutto, alla commistione dei flussi di traffico pesante e leggero, riduzione dei tempi di percorrenza, diminuzione dei costi di manutenzione da sostenere da parte

dell’Amministrazione, riduzione dei flussi veicolari in transito nelle vie urbane, riduzione delle interferenze tra la viabilità stradale e la linea ferroviaria a servizio delle attività ubicate su via Leonardo da Vinci, connesse alla vicina stazione ferroviaria di Calambrone.

Una criticità, molto importante, presentata dal sistema viabile attuale riguarda la difficoltà che hanno le biciclette a raggiungere il litorale tirrenico, specie nella stagione estiva, dalla Città di Livorno: sono sempre più frequenti i casi (documentati anche dalla cronaca locale) di utenti che in violazione alle disposizioni del Nuovo Codice della Strada percorrono la S.G.C. (strada attualmente classificata come di categoria C, ma avente in pratica funzioni di tipo B) con tali mezzi esponendosi a pericoli notevoli: la proposta presentata nel proseguo risolve la criticità suddetta in quanto si prevede apposito percorso ciclabile, che permette la connessione tra il centro di Livorno e il litorale in piena sicurezza.

Preme sottolineare che alla base dello studio che sarà presentato nel proseguo vi è una dettagliata ricerca di pubblicazioni e studi relativi al Porto. Tra il materiale consultato è risultato particolarmente utile quello che compone il “Piano Regolatore Portuale del Porto di Livorno 2012”, soprattutto perché ha consentito di evidenziare le criticità presenti nell’ambito del territorio interessato e, quindi, di indirizzare lo studio suddetto alla loro risoluzione, su basi certe e su dati attuali. Pertanto, nel proseguo della presente relazione saranno riportati ampi stralci, nonché tabelle di dati, immagini e altro tratti dai suddetti documenti.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1. Premessa

Poiché lo studio condotto nella presente tesi è relativo all'area d'interesse portuale, nel presente capitolo verrà descritta tale zona, soffermandosi sugli aspetti territoriali sia storici che attuali e ponendo particolare attenzione al sistema infrastrutturale esistente, all'interno del quale si va ad inserire la proposta progettuale formulata. Tale descrizione si rende necessaria proprio per il ruolo fondamentale che riveste il Porto in seno al territorio del Comune di Livorno e quindi all'area oggetto di studio.

2.2. Livorno e il Porto

In tale sede, appare utile e interessante fornire alcune informazioni di massima circa l'evoluzione storica e lo stato attuale dei rapporti tra la Città e il Porto. Pertanto, nel seguito del presente paragrafo si riportano degli ampi estratti tratti dalle Relazioni che compongono il Piano Regolatore Portuale. Ulteriori informazioni relative agli autori sono inserite nella bibliografia della presente tesi.

2.2.1. *Evoluzione storica*

Le vicende storiche di Livorno, che verranno riassunte in questi paragrafi, danno un'idea chiara dell'ampiezza e del valore storico che questa città ha avuto per la Toscana, prima dell'unità di Italia, e per l'Italia dopo. La sua storia, caratterizzata da note drammatiche e stravolgimenti notevoli, soprattutto nel secolo scorso, ha portato il capoluogo labronico alla conformazione attuale, peculiare sotto molti aspetti. Livorno, infatti, pur essendo una città dall'importante trascorso storico, ha visto ridursi di molto l'entità del suo patrimonio culturale a seguito delle devastazioni dovute prima agli eventi bellici e successivamente ad un invasivo piano di ricostruzione, spesso mosso dalla speculazione edilizia, più che dalla cura verso il recupero e la preservazione di ciò che era rimasto. Ecco che però il porto torna, in un certo qual modo, in "aiuto" alla sua città. Il caso ha voluto, di fatto, che i manufatti di più alto valore storico che si sono salvati dalle distruzioni dei conflitti mondiali, si concentrino proprio nel porto, primi fra tutti la Fortezza Vecchia e la Torre del Marzocco, o comunque siano ad esso strettamente legati, come il sistema dei "fossi",

la Fortezza Medicea ed il quartiere della “Venezia Nuova”. A parte questi, il patrimonio storico livornese in prossimità del suo porto si compone principalmente di una porzione dei borghi e degli ampliamenti settecenteschi ed ottocenteschi, di una parte dall'ultima cinta daziaria e della promenade del lungomare sempre risalente al XIX sec. Va inoltre sottolineato che le stesse strutture portuali, in particolare quelle della Darsena Vecchia, della Darsena Nuova e del Porto Mediceo, come del resto quelle del porto ottocentesco, ovvero la parte che attualmente racchiude la stazione marittima ed il terminal crociere, hanno una notevole valenza storica al pari di quei manufatti precedentemente citati. Da queste considerazioni preliminari il quadro complessivo che si compone appare chiaro, vale a dire la necessità di far rivivere il complesso sistema costiero portuale che ha caratterizzato la città di Livorno negli ultimi cinque secoli soprattutto come traccia urbana, oggi facilmente leggibile e riconoscibile sia nelle piante attuali come in quelle storiche.

Il valore di tale sistema nel suo complesso e dei suoi singoli manufatti, non è solamente storico per la città di Livorno, ma ha anche un indubbia valenza estetica oggettiva che può essere messa a profitto, se opportunamente valorizzata, per rilanciare il settore turistico livornese, cogliendo anche l'opportunità derivante dall'emergente settore crocieristico. In particolare è di grande rilevanza il sistema delle vie d'acqua storiche: i “fossi” e il ”canale dei navicelli” che, non solo danno vita ad un apprezzato “effetto Venezia”, ma che costituiscono per il capoluogo labronico una testimonianza del suo importante retaggio storico, del forte legame della città con l'elemento d'acqua ed infine una sopravvivenza dell'originario impianto urbano buontalentiano, tutt'ora leggibile nelle foto aeree. A questo importante sistema di emergenze storiche vanno aggiunti una serie di manufatti che per caratteristiche e retaggio ricadono nell'ambito *dell'archeologia industriale*, di cui il vecchio silos granari, situato in corrispondenza della banchina Porto Franco, è sicuramente uno degli esempi più interessanti. Quest'ultimi edifici dovranno necessariamente essere inseriti nei piani di recupero e valorizzazione, quali testimonianza del più “recente” passato industriale di Livorno.

Livorno nasce dall’interazione tra la città e il suo porto. Pur essendo legati indissolubilmente, questi due ambiti urbani, hanno conosciuto momenti autonomi di

crescita e processi di separazione. Il piccolo borgo ed il suo molo, datati tra XIV e XV secolo, nascono come del sistema difensivo e di controllo della costa Pisana. Sono di quest'epoca importanti elementi che tutt'oggi caratterizzano la città, ovvero la Fortezza Vecchia e la Torre del Marzocco. Nella seconda metà del XVI secolo Cosimo I°, Granduca di Toscana, si pone come obbiettivo lo sfruttamento delle rinnovate possibilità offerte dal nuovo assetto dei traffici marittimi del Mediterraneo, dopo la sconfitta dei musulmani. L'obbiettivo è quello di creare un unico complesso militare, navale ed economico-commerciale, strutturato nel sistema tripolare composto da Pisa, Livorno e Portoferraio. Questi propositi si concretizzano nel 1577 con la posa della prima pietra della "città nuova", progettata dal Buontalenti, affiancata da una serie di provvedimenti legislativi ed amministrativi, come lo Statuto della Dogana Livornese(1566), e l'ampliamento delle strutture commerciali. Il progetto riprende efficacemente quelle tipiche caratteristiche delle città neofondate del '500, imperniate sui principi della "città ideale" rinascimentale, nella quale simmetria, proporzioni, orientamento, simbolismo geometrico, concorrono al perseguimento della perfezione e quindi alla trascendenza e al divino. Il progetto del Buontalenti ripropone infatti, elementi classici come lo schema chiuso e fortificato, l'impianto urbano a scacchiera, la centralità dei luoghi, attraverso elementi significativi: il porto, la Porta a Terra verso Pisa e la Grande Piazza. Sono presenti tuttavia elementi originali e per certi versi innovativi, quali, ad esempio, l'irregolarità della figura geometrica di riferimento, il pentagono avente a nord-ovest un lato più lungo, indice di un adattamento al sito, ma anche un segno in grado di sottolineare il vitale rapporto col mare.

Grazie a questa scelta, evidentemente, non solo formale, la città si estende su una porzione di costa più ampia e si protende ancora di più verso l'altro importantissimo elemento orografico: la foce dell'Arno.

Infine, c'è da sottolineare l'importante e riuscito inserimento del vecchio borgo nella struttura urbana complessiva e il completamento della rete dei canali che da quel momento, andranno a formare la più importante viabilità urbana al servizio del trasporto e smistamento delle merci, grazie all'utilizzo di piccole imbarcazioni, dette *navicelli*. Tale sistema resisterà nei secoli alle trasformazioni, se pure con qualche

"menomazione", anche dopo l'inglobamento del centro storico nelle più recenti espansioni, che pur trasformando profondamente l'assetto insediativo complessivo identificano, ancora oggi, nel sistema città-porto uno degli elementi caratterizzanti della città. La realizzazione del progetto è, tuttavia, lenta a causa della difficoltà di realizzazione del progetto complessivo. E' solo con la prima metà del XVII sec., che si concretizzano i progetti Medicei del secolo precedente, per cui sono poste le basi di nuovi interventi di miglioria delle attrezzature portuali, rese necessarie dalle mutate necessità di sviluppo. Prendono così corpo una serie di interventi con l'ampliamento del porto, con l'addizione di varie nuove attrezzature a servizio, ed il progetto di ampliamento della città denominato "Venezia Nuova", che mira al rafforzamento delle attività di deposito e stoccaggio merci e delle strutture militari e difensive della città.

Per quanto riguarda gli interventi di adeguamento del porto, si realizzano in questi anni i progetti di una nuova diga ad occidente della Fortezza Vecchia e di un nuovo molo parallelo alla costa, che delimita un ampio bacino aperto verso nord e corrisponde all'attuale Porto Mediceo. Tale ampliamento, risolve i problemi di attracco e di sosta che prima di allora avevano penalizzato Livorno, a favore del porto di Pisa. Tra i progetti realizzati, "Venezia Nuova", come si intuisce del nome, è ispirato al modello veneziano e propone un ampliamento della città direttamente sulla porzione di mare racchiusa tra la Fortezza Vecchia e la Fortezza Nuova dove si estendeva una piccola striscia di terra parallela all'ultima parte del Canale dei Navicelli. A conferma dell'influenza veneziana vi è il fatto che per la realizzazione della nuova "isola" sono state assoldate anche maestranze veneziane. La motivazione di una scelta tanto ardita, risiede nella volontà granducale di affermare con forza il nuovo ruolo che va assumendo Livorno nello scenario Mediterraneo e, di conseguenza, il fortissimo ed indiscusso legame col mare che, come a Venezia, diventa elemento urbano inscindibile e caratterizzante. Per rafforzare ancor più l'importanza del nuovo settore urbano della Venezia Nuova, si collocano al suo interno due importanti centralità : l'Ufficio della Dogana e la Loggia dei Mercanti. Mentre nella prima metà del '600 il progetto della Venezia Nuova prende forma, è con il successivo cinquantennio che il quartiere ha un ulteriore impulso dovuto ad una fase di crescita demografica, conseguente alle strategie di sviluppo complessivo messe in atto nella

città. Tra queste le più importanti riguardano una serie di provvedimenti che di fatto trasformarono Livorno in un "porto franco". Le merci transitanti in città sono esentate dai dazi, con il risultato di stimolare la fruizione del porto e crescita della città, che diviene residenza privilegiata per molti mercanti, ovvero la nuova ricca e forte elit sociale ed economica livornese. Le principali opere che caratterizzeranno lo sviluppo di Livorno nella seconda metà del XVII sec. sono, per quanto riguarda il porto:

1. lo scavo del "Porto Pidocchio", cioè una piccola insenatura posta tra le fortificazioni del Porto Mediceo ed il Lazzaretto di S.Rocco, che si aggiunge ed implementa il sistema di canali che circondano la città e fungono da via d'acqua per le merci;
2. la costruzione di due baluardi a sud in aggiunta a quelli già realizzati in difesa del nuovo porto e l'implementazione delle dotazioni sanitarie con la realizzazione del Lazzaretto di S. Jacopo.

La politica di sviluppo prosegue nel secolo successivo, il XVIII, che registra importanti eventi politici, prima fra tutti il passaggio nel 1737 alla dominazione dei Lorena, quindi sotto il controllo della corona austriaca. Questa nuova reggenza, che inizia con la figura di Francesco Stefano, prosegue con lo sviluppo di una importante politica marittima cui corrisponde un significativo sviluppo edilizio della città che nel 1750 arriva a contare 31.000 abitanti, diventando il secondo maggiore centro della Toscana. Gli scambi commerciali e l'afflusso di merci sono incentivate dalle politiche lorenesi, che riescono a fare di Livorno un nodo privilegiato per gli scambi col Maghreb, grazie ad una serie di accordi commerciali con i paesi mussulmani consorziati. Il generale aumento degli scambi è confermato dal numero di comunità straniere che in questo periodo si insediano in città: inglese, svizzera, alemanna e greca. A livello urbano, l'espansione dell'abitato rompe per la prima volta i limiti fisici della città seicentesca, urbanizzando aree esterne alla cinta muraria; sono, inoltre, fortemente incrementate le infrastrutture viarie, per far fronte alle rinnovate esigenze di collegamento con il nord Italia e l'Austria.

Anche il XIX secolo si apre con l'ennesimo drastico mutamento politico. Infatti a seguito del trattato di Fontainebleau del 1807, la Toscana viene annessa alla Francia e successivamente, nel 1809 elevata a Granducato. Proprio sotto la dominazione francese, Livorno raggiungerà un ruolo amministrativo ed una dimensione territoriale che mai più avrà nel resto della sua storia, quale Capoluogo del Dipartimento del Mediterraneo. Viene così esaltata la sua vocazione europea e marittima. Per quanto riguarda gli interventi del governo francese sulla città, essi riguardarono essenzialmente la riorganizzazione del sistema di comunicazione ed alcuni ampliamenti della zona residenziale tramite delle nuove lottizzazioni, l'ampliamento della città murata, a nord sull'area di Rivellino S. Marco, ovvero di quella parte che gode dei diritti di extra-territorialità. Nessun intervento rilevante interessa, tuttavia, il porto, nonostante l'accresciuta importanza del suo ruolo nello scacchiere mediterraneo. Il governo francese è comunque di breve durata, causa le catastrofiche sconfitte di Napoleone, così, a partire dal 1814, Livorno torna sotto il dominio austriaco e deve affrontare due grandi eventi forieri di profondi mutamenti. Il primo è il declino del commercio di deposito, che segna un inesorabile arretramento nelle gerarchie portuali del Mediterraneo ed un conseguente periodo di crisi. La città vede rapidamente svanire quel sistema economico sul quale aveva fatto la sua fortuna negli ultimi secoli. Il XIX secolo segna anche l'avvio dello sviluppo industriale, che porta un drastico cambiamento in tutta Europa, modificando profondamente il rapporto del porto con la città e quello di quest'ultima con il territorio circostante. Lo sviluppo industriale stimolerà un nuovo e rapido processo di crescita urbana, fattore che, così come in altre città industriali in Italia ed in Europa, costituirà una delle problematiche principali dei secoli futuri.

Nella prima metà del XIX sec., il nuovo governo dei Lorena si impegnerà in una serie di importanti opere volte, in gran parte, a fronteggiare i grandi mutamenti cui Livorno stava andando incontro. Fra queste le più significative sono:

1. l'ampliamento della città con la realizzazione della così detta: “città Leopolda”;
2. la demolizione di buona parte degli antichi bastioni; La realizzazione della nuova cinta daziaria che definiva il nuovo confine della città includendo i sobborghi che avevano ecceduto l'antico perimetro murario;

3. il miglioramento delle dotazioni portuali tra cui la più importante è la costruzione della stazione marittima.

Per quanto riguarda i primi due punti, relativi all'espansione della città, è da sottolineare la validità della progettazione del nuovo quartiere Leopoldo, ad opera di Luigi De Cambrì Digny, che grazie alla sua ubicazione, configurazione e dotazione di edifici pubblici, contribuisce a delineare e definire la "nuova città", che assume forma fisica grazie alla nuova cinta daziaria. Quest'ultimo intervento è legato alle attività portuali, infatti, è fortemente voluta dalla vecchia classe dominante della città, che spera, con quest'opera, di ridare vigore alla tradizionale attività livornese, cioè il commercio di deposito. I tempi però sono irrimediabilmente mutati e di li a poco la città dovrà dire definitivamente addio a questo suo ruolo, nello scacchiere portuale Mediterraneo. Il nuovo perimetro cittadino definito dalla cinta daziaria, causa, comunque, delle rilevanti conseguenze nel futuro sviluppo della città o meglio del suo porto. Infatti i nuovi confini, segnano lo sviluppo urbano dei prossimi decenni verso la direttrice sud ed est, lasciando al di fuori molti dei terreni a nord ritenuti "malsani" che nel futuro, proprio per questo, diventeranno luogo privilegiato per la localizzazione della nuova zona industriale e di espansione del porto. Per le opere di miglioramento dell'area portuale furono realizzate:

- la costruzione di due dighe, la Rettilinea, a protezione del lato nord-ovest del vecchio porto mediceo e la Curvilinea che crea un vasto avamporto nel quale si svolgono le opere di smistamento delle merci tra bastimenti e navicelli;
- la riorganizzazione del traffico nel Canale dei Navicelli, con l'aggiunta della nuova Dogana d'acqua ed il suo ampio bacino situato d'avanti al Rivellino S. Marco;
- la realizzazione della nuova Stazione Marittima all'esterno della città daziaria in corrispondenza del bastione S. Pietro.

È chiaro che le prime stazioni marittime, sono in realtà stazioni ferroviarie-marittime, realizzano ante litteram una intermodalità tra differenti sistemi di trasporto. Si ha notizia della prima stazione di questo tipo nel 1844, a seguito dell'apertura della tratta Firenze-Pisa-Livorno, ubicata nei pressi della Porta San Marco a nord della

città, sicuramente per la presenza della Dogana d'acqua (proprio alle spalle della porta). La prima vera stazione marittima ferroviaria viene però realizzata nella decade successiva all'interno delle opere di ammodernamento del porto, rese sempre più indispensabili dalle nuove necessità di scambio che si affermano nel settore. La stazione viene realizzata tra il 1856-58, all'esterno della cinta daziaria in corrispondenza del bastione San Pietro.

L'Unità d'Italia porta drastici mutamenti, primo fra tutti l'abolizione del porto franco, conseguente all'istituzione di un sistema doganale unificato. Livorno si trova forzatamente nella condizione di adeguare l'intera struttura economica e commerciale, che si era sviluppata in funzione di questo privilegio. Tale drastico mutamento, indiscutibilmente porta grosse ripercussioni sull'intero indotto del sistema portuale livornese e sul ruolo stesso della città nei traffici del Mediterraneo, suscitando non poche polemiche ed opposizioni a livello locale da parte di quella classe imprenditoriale che ha basato tutte le sue fortune sui privilegi storicamente consolidati. In risposta all'obbiettiva situazione d'emergenza ed alle critiche avanzate da molti settori della società viene varata una serie di provvedimenti che si pongono, prioritariamente, due distinti obbiettivi:

1. rilanciare il porto di Livorno nei traffici nazionali ed internazionali, attraverso un potenziamento delle strutture portuali e ferroviarie;
2. istituire commissioni per le industrie che promuovano e facilitano un ulteriore sviluppo del settore industriale.

Tra la fine del XIX sec. ed il primo decennio del XX sec. i principali provvedimenti volti a realizzare i citati obbiettivi sono: l'ammodernamento delle strutture portuali al fine di riaffermare e consolidare Livorno come il principale porto regionale, con la realizzazione di nuovi ed importanti collegamenti ferroviari, come quello della Roma-Genova e la conseguente realizzazione della tratta Livorno-Cecina e la realizzazione della nuova Stazione Centrale, che assumerà un' importante ruolo nella direttrice di sviluppo urbano futuro. Il progressivo sviluppo industriale, concentrato a Nord della città, con la conseguente nascita del primo sobborgo industriale porta l'adeguamento

delle attrezzature pubbliche, al fine di mantenere l'importanza e il rango della città, nel contesto regionale.

A queste primarie strategie urbane si affiancano gli interventi volti ad affrontare i problemi del degrado fisico ed igienico sanitario del centro cittadino, che hanno come esito l'approvazione dei piani di risanamento del ventennio e la crescita della città al di fuori della cinta muraria del 1835, caratterizzata da interventi "episodici", senza una vera logica pianificatoria. Per quanto riguarda l'ammodernamento portuale, oltre alla costruzione nel 1878 di un punto franco su un terreno sottratto al bacino portuale mediante colmata in prossimità della Fortezza Vecchia, si avvia l'allargamento della diga rettilinea, creando una nuova banchina, al fine di ottenere la nuova darsena del "dock" o Mandraccio. Nonostante le opere sopra citate, per tutta la fine del XIX sec, la città attraversa un periodo di depressione e solo alla fine della prima decade del XX sec., il porto, raggiungerà nuovamente il tonnellaggio di un milione e mezzo di merci imbarcate e sbarcate. Livorno, tra XIX e XX secolo, riesce così progressivamente a riaffermarsi come porto regionale. Parallelamente, dal 1885, il settore industriale viene implementato e stimolato, segnando una progressiva crescita, grazie alla localizzazione di alcune attività produttive integrate nell'economia nazionale. Tra queste spicca l'industria cantieristica, sicuramente una delle più importanti e trainanti, ma anche quella metallurgica, vetraia e della ceramica. Il peso dei nuovi settori dell'economia livornese, già nel 1910, fanno registrare un netto sorpasso del settore industriale manifatturiero rispetto il commerciale, con un numero di addetti doppio rispetto quest'ultimo e con significative ripercussioni sul tessuto sociale e conseguentemente sullo sviluppo urbano della città. Dagli inizi del XX sec., in seguito al Piano di riorganizzazione dei porti italiani, prendono il via importanti iniziative come quella del 1905 relativa all'inizio dei lavori di escavazione del canale industriale, seguito dall'approvazione del primo Piano Regolatore Portuale; atti che testimoniano il dinamismo e la volontà di cercare nuove direttrici di sviluppo e riorganizzazione degli spazi esistenti. Nella immagine seguente si può apprezzare l'organizzazione cittadina, tramite un estratto del Piano Regolatore Portuale del 1910:

Figura 1 Piano regolatore del Porto di Livorno 1910

Il nuovo Piano Portuale prevede un considerevole ampliamento con:

1. la realizzazione di nuove dighe, una detta della Meloria, quale "prolungamento" della diga Curvilinea verso sud-ovest e quella detta del Marzocco;

2. la formazione di un nuovo bacino, corrispondente all'attuale S. Stefano ed il riempimento della zona retrostante, per la realizzazione della Darsena Pisa ad usi industriali.

Nel 1919 il porto si distacca amministrativamente dalla città, grazie all'istituzione di un ente autonomo per le opere di sistemazione portuale. Nel 1924 vengono realizzati i silos granari sulla Calata Deposito Franco, che grazie alla loro collocazione, all'imboccatura del porto, ed alla loro "imponenza", sono destinati a diventare un "segno" di notevole importanza visiva nell'ambito urbano. Ancora oggi, pur necessitando di urgenti ed importanti interventi di recupero e restauro, questi continuano a rivestire questo ruolo, quali elementi significativi sopravvissuti alle ingiurie del tempo ed ai violenti bombardamenti che durante la seconda guerra hanno devastato gran parte della città di Livorno ed il suo porto.

Il periodo del ventennio fascista, costituisce un importantissima fase per la città di Livorno, che vede sia il definitivo passaggio da città commerciale a città industriale; sia una serie di importanti interventi urbanistici, concentrati soprattutto nel centro storico che, in definitiva, ne muteranno l'aspetto complessivo. I primi interventi del ventennio si concentrarono soprattutto nel progetto di rilancio dell' area portuale-industriale, con un conseguente sviluppo della città verso nord e la crescita dei nuovi quartieri operai. L'ampliamento dell'area portuale prevede la realizzazione di un ampio porto industriale, sempre sulla direttrice nord verso il vecchio Canale dei Navicelli che si collegava alla foce dell'Arno ed a Pisa. Esso si sviluppa all'interno della linea costiera grazie ed ampi canali, sui quali grandi moli avrebbero consentito, alle nuove industrie, di avere accesso diretto a banchine proprie. In gran parte il porto industriale attuale deriva direttamente da questi primi progetti, di cui prende le caratteristiche salienti. Proprio al fine di favorire il raggiungimento degli obiettivi prefissati, nel 1929 viene approvata una legge che concede, alla nuova area portuale livornese, importanti benefici fiscali per tutte quelle industrie che vi avessero trovato collocazione. Tale provvedimento fu simile a quello adottato in quegli stessi anni per altre importanti aree portuali italiane come Napoli, Trieste, Palermo e Venezia. Fu così che importanti stabilimenti industriali si insediarono nella nuova area portuale:

chimici, metallurgici, vetrari, una centrale termoelettrica, tubifici, altri silos granari, un deposito petrolifero Apir, una raffineria petrolifera dell'Anic.

Nel 1931, mediante l'emanazione di apposito Regio Decreto, vengono staccate alcune aree dal Comune di Collesalvetti e annesse a quello di Livorno: grazie a tale annessione, la zona industriale si espande fino alla grande curva della via Leonardo da Vinci. A seguito di questa espansione, il porto mantiene, sostanzialmente, la sua configurazione fin alla costruzione della recente Darsena Toscana.

Nel 1934 le esigenze di ulteriore implementazione delle risorse portuali hanno dato vita al progetto per una nuova stazione marittima; timido tentativo di architettura moderna, con ispirazioni derivate del trasporto marittimo. Il progetto era costituito da un lungo edificio scandito da elementi verticali e caratterizzato dalla presenza di una torre-faro richiamante l'idea dell'albero maestro di una grande nave. A questo corpo principale, parallelo alla banchina, se ne innestano perpendicolarmente altri due, tra loro paralleli, aventi lunghezza inferiore. Il progetto però rimarrà tale, forse anche a seguito dei successivi eventi bellici, non venendo mai realizzato.

I provvedimenti presi dalla politica fascista investono anche il settore amministrativo, è di questo periodo, infatti, l'importante ampliamento del territorio provinciale, concludendo di fatto un processo che si era avviato nei periodi precedente: ovvero il rapporto di Livorno col suo territorio. Come afferma Bortolotti: "Era questa una tappa di un processo secolare di superamento della primitiva condizione di *isola* in un ambiente estraneo, nell'allacciamento di legami sempre più stretti col proprio retroterra immediato". Parallelamente agli interventi sopra citati, nel ventennio vennero messe in atto radicali politiche urbane che, tra necessari interventi di risanamento del centro storico, diradamenti, sventramenti e monumentalismo delle opere di regime, significheranno una profonda trasformazione della città di Livorno. "Sembra in realtà che Mussolini avesse deciso di fare qualcosa di clamoroso, per Livorno..."dandole "un'immagine all'altezza di quella centralità economica e mercantile che la supremazia italiana nel Mediterraneo le ha conferito". In questo quadro si inseriscono le importanti opere del Palazzo del Governo, la Terrazza Ciano (oggi Mascagni), il nuovo ospedale, lo stadio, la stazione marittima, che saranno i

cardini su cui si svilupperà la politica di trasformazione urbana sotto il regime. Il perseguimento di tali obbiettivi è messo in atto, con solerte determinazione con:

- provvedimenti legislativi quali la n.1141 del 1935 "Disposizioni concernerti il piano di risanamento e costruzione edilizia di Livorno";
- l'inizio di un'importante fase di pianificazione attraverso una serie di strumenti urbanistici quali: il Piano Regolatore Generale del 1927 di "risanamento", il Piano Generale di Massima di risanamento del centro città del '35-36; ed infine nel 1937 un nuovo Pian Regolatore Generale redatto da Piacentini, uno strumento che contiene tutti i principi urbanistici ed edilizi di regime, attraverso il diradamento edilizio, la ricerca di un "nuovo" monumentalismo dell'impianto urbano, la speculazione fondiaria e commerciale.

Tali strumenti, risulteranno determinanti nella determinazione dell'assetto contemporaneo della città, in quanto, anche se non completamente attuati durante il regime, continueranno ad essere presi come riferimento nell'importante fase della ricostruzione post bellica.

La situazione di Livorno nell'immediato dopo guerra appare veramente difficile, i dati parlano chiaro: le stime fatte dall'ufficio tecnico comunale sui danni subiti a seguito delle azioni belliche, sono eloquenti, solo l'8,38% degli edifici è rimasto illeso, il 33,38 % risulta completamente distrutto e la rimanente percentuale si divide equamente tra gravemente danneggiato e danneggiato. La medesima devastazione, se possibile anche con percentuali maggiori, ha interessato tutta l'area portuale, che rientrava tra i bersagli prioritari delle incursioni aeree. Questi dati ci danno la misura dell'entità dell'opera di ricostruzione post bellica e ci aiutano a comprendere le importanti ricadute che questa fase ha avuto sull'attuale assetto urbano funzionale di Livorno. La ricostruzione quindi, è mossa principalmente dall'obbiettivo della "riattivazione funzionale" sia per il porto che per la città, ma, se l'opera di rifunzionalizzazione appare logica e condivisibile per il primo ambito, è quanto meno opinabile, per le modalità con cui si è attuata, per la seconda, dove tra edificazione delle aree libere e densificazione di quelle in parte edificate sembra prevalere la logica speculativa, poco

o per niente sensibile al recupero di ciò che era sopravvissuto alla guerra. Il giudizio critico, pertanto, non si ferma al solo periodo fascista, ma si propaga per tutto il periodo della ricostruzione e del boom edilizio degli anni ’60 e ’70 del novecento. La ricostruzione del porto livornese si inserisce all'interno della più complessa strategia infrastrutturale nazionale dei porti che, attraverso finanziamenti specifici, a Genova, Napoli, Venezia e altri, si pone l’obiettivo di acquisire un livello sufficiente di efficienza, tale da reggere la concorrenza e non perdere competitività, nel panorama nazionale e internazionale. Naturalmente molte furono le cause del ritardo: la poco equa ripartizione dei finanziamenti e l'occupazione degli alleati che stanziarono a Livorno più a lungo che altrove. Analizzando gli strumenti urbanistici dell'epoca, essi ci appaiono autonomi ma coerenti, anche se non sempre si affronta il rapporto tra ricostruzione portuale ed urbana. Tra quelli coinvolti nella prima fase, convenzionalmente denominata della “ricostruzione”, vi sono i Piani di Ricostruzione, a partire da quello approvato nel 1946, il Piano Regolatore Portuale del 1953, ed il Piano Regolatore Generale del 1961.

Il P.R.P. del '53 condivide col P.R.G. del '61 una serie di opere infrastrutturali finalizzate a potenziare i collegamenti e l'accessibilità del porto. Tra le proposte vi è la strada di grande comunicazione per Firenze, che successivamente diviene super strada, la realizzazione dell'attuale via Enriques (implementazione dell'accesso al porto) e altre opere. Per quanto riguarda invece gli interventi di potenziamento delle opere portuali, possono essere essenzialmente sintetizzati nella costruzione di: una nuova darsena petroli, che non ha prodotto gli auspicati incrementi nel settore; la banchina Alto Fondale, che è realizzata nel 1963; nonché la costruzione di un altro molo, posto al centro fra i due, realizzato solo parzialmente con la costruzione dell'attuale molo Italia. Fra le altre opere previste, vi è la realizzazione di una nuova stazione marittima e di un ulteriore ponte a est della Fortezza, di collegamento con il porto vecchio. Gli sforzi messi in atto si concretizzano con una crescente ripresa dell'attività, che ritorna ad essere sostenuta a partire dal 1960. Progressivamente Livorno diventa uno dei porti più dinamici non solo della Toscana, intercettando il movimento merci sia dell'asse del Valdarno che buona parte del movimento merci dell'Emilia Romagna, di cui torna ad essere il porto tirrenico. A conferma di questo

sviluppo, negli anni '70 la città s'impone come primo porto container del Mediterraneo superando persino Genova, grazie anche ad una lungimirante politica volta al contenimento dei prezzi (politica che ebbe efficacia fino agli inizi degli anni ottanta). Lo sviluppo nel settore dei container riporta, in un certo qual modo, il porto livornese alle sue origini mercantili. Molte aree cambiano destinazione d'uso: da industriale a commerciale. Le nuove e crescenti esigenze però sono tali da causare presto una saturazione degli spazi portuali, spesso male attrezzati, con il conseguente risultato dell'occupazione indiscriminata di suolo urbano che viene così sottratto alla città. Se da un certo punto di vista, gli interventi più consistenti si concentrano sul porto nuovo, in realtà quello vecchio non è affatto esente da trasformazioni, anzi, come messo in evidenza dall'accurato studio di D'Aniello, subisce pesanti manomissioni tra il 1960 ed il '70. Anche il sistema di canali interni, elemento caratterizzante della città ed importantissimo retaggio storico, in quegli anni, è oggetto di interventi negativi volti all'interramento di alcuni tratti al fine di favorire il potenziamento della viabilità carrabile, in particolare nei pressi della Vecchia Dogana d'Acqua. Analizzando l'evoluzione dei vari strumenti operativi, appare chiaro come mentre gli interventi e la pianificazione del 1930 è stata decisiva e determinante ai fini della conformazione attuale dello scalo livornese e del ruolo industriale e commerciale assunto nel corso dei decenni, lo strumento urbanistico più importante per il porto è stato sicuramente il P.R.P. del '53 che, tramite una serie di varianti, è rimasto vigente sino ad oggi. Nel 1971 viene proposto un nuovo Piano Regolatore Portuale, elaborato dal Genio Civile, tuttavia questo non viene approvato. Sono comunque recepite e realizzate alcune sue proposte progettuali: la nuova darsena Toscana, la costruzione della nuova vasca di colmata, il completamento della viabilità territoriale, l'arrivo della superstrada per Firenze. Sempre degli anni '70 è la crescita del settore passeggeri, con i traghetti, e turistico, con le crociere, che ha creato nuove prospettive di sviluppo allo scalo livornese. Tutte queste scelte e strategie comportano, per il porto di Livorno, trasformazioni volte a rispondere maggiormente alla esigenze del mercato che spinge verso la formazione di una struttura multipurpose, dove i residui delle attività industriali convivono con il settore mercantile, caratterizzato da quello containers, con il settore passeggeri e con il nuovo settore croceristico. Nel 1977 viene approvato un nuovo Piano Regolatore

Generale, redatto da Insolera, considerato strumento che conclude il ciclo della ricostruzione, che si prefigge di aprire una nuova fase di pianificazione urbanistica per la città di Livorno, volta al recupero delle aree estensive, con l'esplicito intento di mitigare gli effetti negativi della pianificazione precedente. I benefici di questa nuova linea di indirizzo progettuale però sono decisamente ridimensionati da una serie di modifiche frutto di varianti successive, che di fatto permisero il protrarsi di molti "mali", a cui il piano avrebbe voluto porre rimedio. Per quanto riguarda le previsioni del Piano Insolera sull'area portuale saranno essenzialmente concentrate nella risoluzioni dei casi di interferenza-conflitto, emersi negli ultimi anni a seguito della sua nuova fase di trasformazione funzionale. I principali interventi interessarono:

-la soluzione delle problematiche relative alle nuove necessità di aree deposito merci. È in quest'occasione che per la prima volta si propone di trasferire tale crescente problematica, all'esterno della città, tramite la costruzione di un centro intermodale. L'obbiettivo è quello di liberare le aree che, sino ad allora, sono state sottratte al tessuto urbano, come ad esempio quelle limitrofe alla stazione San Marco, da riutilizzare per nuove destinazioni più coerenti con le necessità cittadine;

-lo spostamento della stazione marittima;

-la trasformazione del porto Mediceo in porto turistico;

-la prescrizione di pianificazione, tramite un Piano Attuativo Unitario, per tutta l'area industriale-portuale.

La più grossa debolezza del piano, per quanto concerne le previsioni sull'area portuale, è l'assoluta mancanza di interventi relativi al recupero del fronte a mare del centro storico, che, in un certo qual modo, indebolisce la scelta di trasformare il porto Mediceo in porto turistico. Altro elemento negativo, anche se in questo caso più indiretto, è la norma relativa al Piano Attuativo unitario a causa della successiva interpretazione che ne stravolgerà gli obbiettivi, consentendo interventi parziali e disordinati, che causeranno il proliferare del fenomeno d'occupazione di aree urbane ad uso deposito (in attesa della realizzazione del centro intermodale). Soltanto nel 1978 il progetto del centro intermodale prende corpo, con la localizzazione dell'area

di Guasticce, nel comune di Collesalvetti, a 10 km da Livorno. Nel 1985 la Società Bonifica redige un importante progetto di assetto per lo scalo livornese che, anche se non approvato, influenzerà positivamente le fasi di progettazione future. Nel 1990 si arriva alla presentazione del progetto definitivo con la valutazione di impatto ambientale, anche se si dovrà aspettare fino al 1999 per la messa in attività dell'area. I benefici, però, non sono quelli auspicati in quanto non si arriverà alla costituzione di una vera e propria "piattaforma logistica costiera" a causa della mancanza di una gestione unitaria con il porto, oltre a problemi meramente realizzativi. Prova ne è il fatto che la Compagnia Portuale ha dovuto acquisire un altro sito denominato "Distripark" presso la zona del Faldo, esterno quindi al centro intermodale, per soddisfare le proprie esigenze di deposito a lungo termine. Intanto nel 1999 viene approvato, dopo un lungo percorso, il nuovo piano della città di Livorno, redatto da Gregotti, secondo la prima legge urbanistica regionale d'Italia: la L.R. Toscana 5 del 1995.

Il Piano Gregotti include previsioni che interessano i Sottosistemi del Porto Mediceo, della Stazione Marittima, e dell'importantissimo *Waterfront* ottocentesco a sud della città, nei quali sono stati realizzati, o sono in corso d'opera, i seguenti interventi: Piano Attuativo della "Porta a Mare", Piano Attuativo della nuova Stazione Marittima, Piano Attuativo del Porto Turistico all'interno del Porto Mediceo e della Darsena Nuova, riqualifica della Terrazza Mascagni e della Passeggiata a Mare, il PIUSS per il recupero dello "Scoglio della Regina". Nella immagine successiva si ha un estratto del progetto di ampliamento del Porto del 1954:

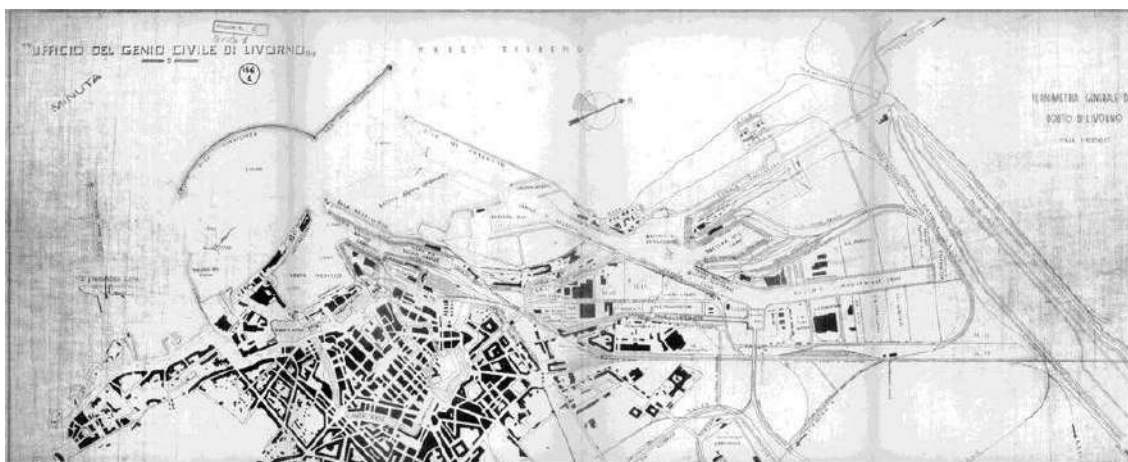



Figura 2 Progetto di ampliamento del Porto di Livorno 1954, Genio Civile

2.2.2. *Stato attuale e il nuovo Piano Regolatore Portuale*

Il porto di Livorno, classificato come porto di II categoria I classe (artt. 3 e 10 del T.U. 16/7/1884 n°2518), classificazione confermata dall'art.4 comma 1 bis L 84/94, è sede di Autorità Portuale, è il porto principale della Toscana e si configura come scalo multifunzionale.

Il porto si affaccia sul Mar Ligure, nella parte Nord-Occidentale della Toscana, a 43°32'. 6 Nord di latitudine e 010°17'. 8 di longitudine Est.

È distinto in Porto Vecchio a Sud, Porto Nuovo e canale industriale a Nord e si compone di quattro bacini: Avamporto e Porto Mediceo che caratterizzano il Porto Vecchio, Bacino S. Stefano e Porto Industriale che individuano il Porto Nuovo nel senso più ampio e la Darsena Toscana.

Trattando del porto di Livorno è necessario operare una netta suddivisione fra il cosiddetto porto storico, comprendente anche la parte cantieristica, ed il porto commerciale vero e proprio che, pur affacciandosi con una banchina al bacino mediceo, si sviluppa a nord di esso e comprende la Darsena Toscana, la Darsena Inghirami ed il cosiddetto Canale Industriale sulle cui sponde operano numerosi concessionari. Il porto storico è intimamente legato al tessuto cittadino, al quale è connesso anche per via acquatica, attraverso i famosi "canali", nati insieme alla città; Il porto commerciale, che a parte il canale industriale si sviluppa prevalentemente a ridosso del Bacino S. Stefano, della Darsena Toscana e della Darsena n°1.

Il vecchio Piano Regolatore Portuale del porto di Livorno risale al 1955. Nel 1973 fu oggetto di una variante che prevedeva la realizzazione della Darsena Toscana mentre negli ultimi anni, utilizzando lo strumento urbanistico dell'Adeguamento Tecnico Funzionale, sono state introdotte alcune piccole varianti per cercare di adeguarlo alle nuove ed immediate esigenze di un terminale marittimo moderno ma senza migliorarne significativamente la funzionalità e l'operatività. Infine nel 2010 è stata approvata una variante al Piano Regolatore Portuale finalizzata esclusivamente alla realizzazione di infrastrutture per l'approdo turistico all'interno del Porto Mediceo, porzione del bacino portuale che già veniva utilizzata per accogliere natanti da diporto.

In pratica, a parte la variante che ha riguardato la realizzazione della Darsena Toscana, che ha prodotto una significativa modifica all'assetto infrastrutturale del porto di Livorno, le altre modifiche introdotte attraverso gli Adeguamenti Tecnici Funzionali non hanno rappresentato significative modifiche, sia in termini infrastrutturali che di operatività, del Piano del 1953.

Attualmente quindi il porto di Livorno presenta numerosi inconvenienti che ne hanno rallentato la crescita nonostante la notevole appetibilità dovuta sia alla favorevole ubicazione geografica che alle ottime prospettive di sviluppo dei collegamenti stradali e ferroviari. Allo stesso tempo l'oramai obsoleto strumento di pianificazione portuale vigente, che a parte alcuni interventi marginali di modesta utilità è stato completamente attuato, non è più in grado di garantire al porto di Livorno prospettive di sviluppo. In aggiunta, da considerare il grave limite del Porto di Livorno dovuto ai modesti tiranti d'acqua che obbliga a frequenti interventi di dragaggio per garantire le altezze minime.

Il nuovo Piano Regolatore Portuale che prende le mosse da quanto tracciato dal Piano del 1953 rappresenta per Livorno un passaggio di grande rilevanza strategica non solo per lo sviluppo del porto, ma anche per la città, la provincia e l'articolato sistema dei distretti industriali localizzati nelle immediate vicinanze e per la Regione Toscana in quanto il porto di Livorno costituisce senza alcun dubbio il soggetto principale della Piattaforma Logistica Costiera indicata nel P.I.T. e nel P.R.S. della Regione Toscana.

Di fondamentale importanza risulta lo studio dell'attuale e futuro assetto del territorio portuale e non, per la valutazione delle strategie da applicare per l'organizzazione della viabilità al contorno dell'ambito portuale. Pertanto, l'ambito territoriale oggetto dello studio di tesi non è soltanto portuale, essendo caratterizzato anche da traffico di tipo urbano e suburbano. Quindi, tale ambito è distinto in due sotto-ambiti, indicati nelle Linee Guida per la redazione dei Piani Regolatori Portuali come:

a) un sotto-ambito portuale in senso stretto (il porto operativo, tecnico, l'area più funzionale all'economia e all'efficienza delle attività portuali), che comprende le

interconnessioni infrastrutturali, viarie e ferroviarie, di collegamento con l'entroterra contenute nell'ambito portuale (v. art. 5 comma 1 della Legge n.84/1994);

b) un sotto-ambito di interazione città-porto (dove collocare altre attrezzature portuali ma anche propriamente urbane legate ai servizi, al commercio, alla cultura, alla direzionalità), che comprende gli innesti e gli affacci urbani, rivolti a collegare il tessuto della città con le aree portuali più permeabili e più compatibili con i flussi e le attività urbane.

Nella immagine in fondo al paragrafo (Figura 3), vengono evidenziati tali ambiti e il loro inquadramento all'interno del contesto territoriale cittadino.

L'area portuale risulta collegata al territorio circostante tramite sistemi infrastrutturali di tipo stradale, ferroviario e dalle cosiddette "vie d'acqua".

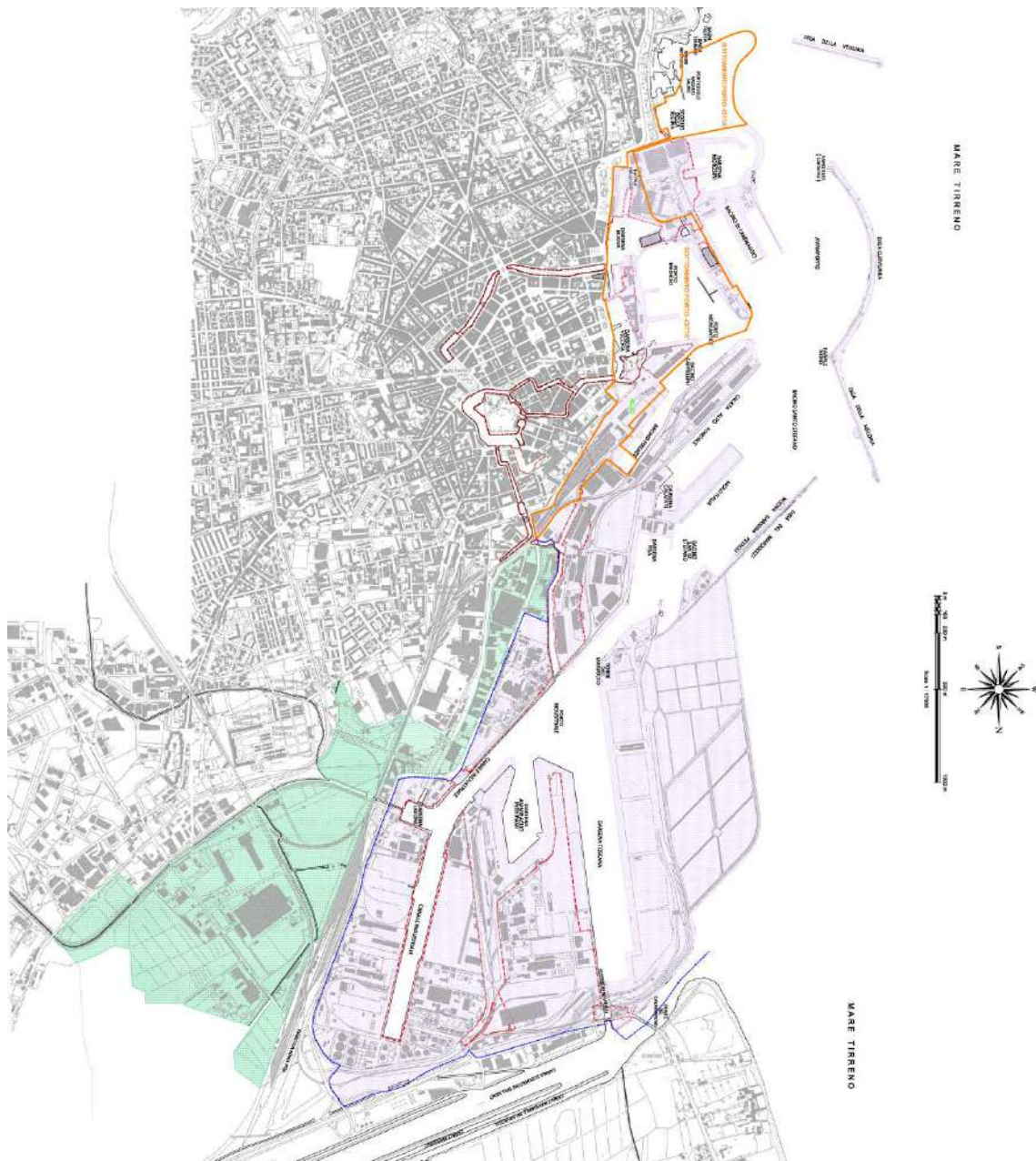



Figura 3 Ambito di P.R.P.

2.3. *Infrastrutture stradali*

Nel contesto territoriale in cui il Porto di Livorno è inserito, un'importanza fondamentale è costituita dall'Autostrada A12 "Genova-Livorno-Rosignano": lungo il suo percorso si trovano i nodi di connessione con le altre autostrade A11 Firenze-Mare (a sua volta collegata con l'A1 Milano-Napoli), A15 Parma-La Spezia. L'autostrada A12 presenta lo svincolo "Livorno Porto" che rappresenta il collegamento diretto allo stesso Porto.

Lungo il corridoio della Valle dell'Arno si sviluppa, poi, la Strada di Grande Comunicazione (S.G.C.) Firenze-Pisa-Livorno che svolge il ruolo fondamentale di penetrazione nell'entroterra regionale. All'altezza del Comune di Cascina, uno dei due rami di cui si compone si dirige verso Pisa inserendosi nell'A12, mentre il secondo si dirige verso Livorno e, dopo avere incrociato la S.S.1 termina, immettendosi nell'area portuale.

La S.S.1 Aurelia percorre da Sud a Nord il territorio provinciale di Livorno, attraversa la parte Est della città di Livorno: lungo il suo sviluppo si dipartono diverse strade d'interesse provinciale che la collegano alle zone interne della Provincia. Tra di esse, particolare importanza riveste la S.S.67 bis "Arnaccio" che si sviluppa in direzione Firenze. Un altro importante svincolo è ubicato in località Stagno, e realizza il collegamento con la FI-PI-LI e con l'autostrada A12.

Vale la pena ricordare, in questo contesto, anche la S.R.206 Pisana-Livornese, meglio conosciuta come Via Emilia che si snoda per circa 35 dei suoi 41,5 Km in Provincia di Livorno, collegando la città di Pisa con la zona a Nord di Cecina, innestandosi sulla variante Aurelia e con la S.R.68 "Val di Cecina" che la collega all'entroterra della Provincia di Pisa.

Un'arteria importante che realizza il collegamento del porto industriale alla città di Livorno è la via Leonardo da Vinci (il cui adeguamento è oggetto della presente tesi) che, partendo dalla zona Nord di Livorno, costeggia l'area portuale e la rete ferroviaria della stazione di Calambrone e penetra all'interno della stessa; tramite essa è possibile immettersi sullo svincolo della S.G.C. FI-PI-LI "Livorno centro" ubicato in località Calambrone, e quindi attraversato il canale scolmatore del fiume Arno e il

canale dei Navicelli, si raggiungono le frazioni di Calambrone, Tirrenia e Marina di Pisa fino al nuovo porto turistico “Bocca d’Arno”.

Importante ai fini dello studio dei collegamenti risulta essere il sistema degli accessi stradali del porto di Livorno che allo stato di fatto comprende i varchi pubblici seguenti:

-Darsena Toscana;

-Galvani;

-Valessini;

-Zara;

-Stazione Marittima.

Nell'ambito portuale, oltre ai varchi suddetti, sono attivi altri varchi privati, riservati a singoli operatori. Nella immagine successiva l’accessibilità viabile e i varchi portuali:

Figura 4 Accessibilità viabile e varchi stradali

2.4. *Infrastrutture ferroviarie*

La rete ferroviaria portante a servizio del Porto di Livorno è costituita essenzialmente dalle seguenti linee.

- Linea "Tirrenica" Genova-Roma, all'interno della quale si collocano il nodo di Pisa, a Nord e di Vada a Sud. In particolare, il nodo di Pisa è stato recentemente oggetto d'importanti opere di ammodernamento, sia per quanto riguarda i sistemi di gestione computerizzata del traffico ferroviario, sia per quanto riguarda l'eliminazione delle interferenze presenti nelle varie diramazioni delle linee. Ciò ha consentito di ottenere un importante aumento della capacità del sistema ferroviario facendo si che, ad oggi, il nodo di Pisa risulti strategico per il traffico merci da e per il Porto di Livorno;
- Linea Firenze-Pisa che, sviluppandosi lungo il fiume Arno, connette gli importanti centri di Empoli e Pontedera e attraverso il nodo di Firenze risulta collegata alla dorsale centrale che consente di raggiungere i grandi centri urbani del Nord Italia (Bologna, Milano ecc.) e del Sud Italia (Roma ecc.) tramite la linea ad alta velocità;
- Linea Prato-Pistoia-Lucca-Pisa;
- Linea Pontremolese;
- Linea Pisa-Collesalvetti-Vada (di recente elettrificata e rappresenta una valida alternativa sicura rispetto alle gallerie del Romito);
- Linea Livorno-Calambrone-Centro Intermodale "A. Vespucci"-Collesalvetti (attualmente non in esercizio tra il centro intermodale e Collesalvetti).

Come si può facilmente evincere, l'insieme di queste linee garantisce al Porto di Livorno un ventaglio completo di instradamenti verso l'entroterra Nazionale e l'Europa. Ai fini del lavoro oggetto della tesi di laurea di cui alla presente relazione, particolare importanza riveste il nodo ferroviario della stazione Livorno-Calambrone, situata in fregio ai binari della linea tirrenica e composta da tre fasci di binari distinti. Infatti, dalla stazione di Livorno Calambrone si diramano i raccordi per il porto Vecchio, quello Nuovo, per il canale industriale, la Darsena Toscana nonché per le zone industriali della raffineria Eni e dell'Interporto Amerigo Vespucci. Attualmente, sono in corso di realizzazione degli interventi di ammodernamento finalizzati a

realizzare il collegamento diretto tra il Porto e il nodo di Pisa, il potenziamento del raccordo tra il Porto e la città di Livorno, il collegamento diretto tra il porto e l'interporto di Guasticce e di Collesalvetti (in questo ultimo caso, è prevista la realizzazione di un'opera importante per lo scavalcamento della dorsale Tirrenica). Il nuovo tratto della via Leonardo da Vinci interesserà la linea ferroviaria, collegata a quella principale Calambrone-Porto, da cui si dipartono i rami a servizio delle attività ubicate lungo l'attuale tracciato e che attraversano tale via: con la realizzazione del tratto di variante, si renderà necessario, pertanto, prevedere lo spostamento di tale linea (che sarà ubicata tra le due strade), l'adeguamento del suo collegamento alla linea principale Calambrone-Porto, nonché l'adeguamento dei rami a servizio delle attività (con un raggio minimo di 150m).

2.5. *Le vie d'acqua*

Il Porto di Livorno è collegato anche attraverso il canale dei Navicelli e lo scolmatore del fiume Arno (tale collegamento è, inoltre, causa di costante interramento della Darsena Toscana). Il canale è navigabile e si sviluppa in direzione Nord-Est, collegandolo alla vicina città di Pisa dove è sorta, recentemente, anche un'importante area industriale dedita alla cantieristica navale e da diporto, oltre che importanti attività artigianali e commerciali. Lo scolmatore, invece, ad oggi non risulta navigabile, ma è in essere un importante accordo di programma tra Enti Locali per l'esecuzione di lavori volti all'adeguamento idraulico ed alla sua navigabilità per il collegamento del porto alle aree retro portuali.

2.6. *Vincoli*

Sito d'interesse Nazionale*:* l'area su cui si sviluppa il progetto di cui alla presente tesi è classificata coma "sito di interesse Nazionale", ai sensi del D.M. 18/01/2001 n.ro 468 "Regolamento recante: programma nazionale di bonifica e ripristino ambientale" che individua, tra gli altri, il sito di Livorno come intervento di bonifica di livello nazionale. Il presente vincolo è relativo ad aspetti di natura ambientale derivanti da particolari attività svolte nell'area e, come tale, non interferisce con la fattibilità dell'intervento prospettato;

Pericolosità idraulica: dall'esame della carta della pericolosità idraulica estratta dal Piano Assetto Idrogeologico del Bacino Regionale Toscana Costa (Legge n.ro 183/1989 – L.R. n.ro 91/1998), si evince che l'intervento ricade in tre diverse zone di pericolosità idraulica, come di seguito riportato:

- "*area di particolare attenzione per la prevenzione da allagamenti*": in quest'area ricade il tratto di raddoppio della via Leonardo Da Vinci che interesserà parte del sedime dei binari ferroviari della stazione di Calambrone e che, comunque, non modificherà l'attuale assetto idraulico essendo prevista la realizzazione all'attuale quota del piano ferrato. Sempre in quest'area, ricade la parte terminale del proseguimento della via Federigo Enriques: anche in questo caso non si ha modifica dell'assetto idraulico, essendo il tratto realizzato in viadotto per lo scavalcamento della linea ferroviaria;
- "*area a sollevamento meccanico*": quest'area presenta delle quote più basse rispetto a quelle delle aree circostanti e pertanto è una zona depressa che necessità dell'ausilio di pompe idrovore per lo smaltimento delle acque meteoriche. Anche in questo caso, vista la natura dell'intervento, non si registrano interferenze di natura idraulica;
- "*area a pericolosità idraulica molto elevata (P.I.M.E.)*": una porzione di area all'inizio del raddoppio della via Leonardo Da Vinci nei pressi del torrente Ugione, lambisce l'area P.I.M.E. classificata tale in virtù della presenza del torrente. Per queste aree si applica quanto contenuto nell'art. 5 comma 11 lettera b) delle norme del PAI. Secondo tali disposizioni: "*Sono consentiti gli interventi di ampliamento e di adeguamento delle opere pubbliche e delle infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico, purché siano realizzate in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento ed al contesto territoriale e, previo parere del Bacino, non precludano la possibilità di attenuare o eliminare le cause che determinano le condizioni di rischio e non concorrano ad aumentare il rischio in altre aree*". Si ritiene che la realizzazione dell'intervento, peraltro nella parte terminale dell' area P.I.M.E., non aumenti le condizioni di rischio idraulico in quanto la quota del piano viabile sarà prevista superiore a quella degli argini del torrente Ugione;

- *Regio Decreto 25 luglio 1904, n°523- Testo unico sulle opere idrauliche:* in base a quanto prescritto dall'art. 96, l'intervento è ubicato ad una distanza superiore a 10,00 m dal piede esterno dell'argine del torrente Ugione.

3. RACCOLTA E ANALISI DEI DATI PROGETTUALI

3.1. Dati incidentali

È stato effettuato, in collaborazione con la polizia municipale di Livorno, uno studio sugli incidenti che si sono verificati sulla via Leonardo da Vinci: a tale proposito, sono stati richiesti i relativi dati ai competenti uffici della Polizia Municipale. I dati acquisiti vanno da gennaio 2012 a metà febbraio 2016: nella prossima tabella (Tabella 3), è possibile consultare il dettaglio di tali incidenti. In un arco temporale della durata di circa 4 anni, è stato registrato un numero elevato d'incidenti stradali:

Data Incidente	Genere Incidente	Incolumi	Feriti	Morti
12/01/2012	Tamponamento		1	0
17/02/2012	Fuoriuscita		0	0
13/03/2012	Tamponamento		0	0
24/04/2012	Tamponamento		2	0
28/04/2012	Scontro frontale laterale		1	0
18/05/2012	Urto con veicolo in sosta		0	0
18/05/2012	Tamponamento		1	0
23/05/2012	Urto con ostacolo accidentale		0	0
08/06/2012	Caduta da veicolo		1	0
17/06/2012	Caduta da veicolo		0	0
27/06/2012	Scontro laterale		5	0
07/07/2012	Scontro laterale		1	0
14/07/2012	Tamponamento		1	0
07/08/2012	Scontro frontale laterale		1	0
14/09/2012	Urto con ostacolo accidentale		0	0
09/11/2012	Fuoriuscita		1	0
18/12/2012	Urto con ostacolo accidentale		0	0
26/02/2013	Scontro laterale		1	0
22/03/2013	Tamponamento		4	0
11/04/2013	Urto con ostacolo accidentale		0	0
14/07/2013	Caduta da veicolo		2	0
18/07/2013	Tamponamento		1	0
29/10/2013	Fuoriuscita		0	0
11/12/2013	Caduta da veicolo		1	0
10/12/2013	Urto con veicolo in fermo o arresto		1	0
25/12/2013	Fuoriuscita		0	0
01/04/2014	Tamponamento		1	0
17/04/2014	Scontro frontale laterale		1	0
07/05/2014	Scontro frontale laterale		1	0
26/05/2014	Urto con ostacolo accidentale		0	0
26/06/2014	Scontro frontale laterale		3	0
19/07/2014	Caduta da veicolo		1	0
19/07/2014	Urto con ostacolo accidentale		0	0
05/08/2014	Caduta da veicolo		1	0

26/08/2014	Urto con ostacolo accidentale	0	0
28/10/2014	Tamponamento	0	0
19/11/2014	Urto con ostacolo accidentale	0	0
17/12/2014	Scontro frontale laterale	0	0
22/12/2014	Urto con ostacolo accidentale	0	0
10/01/2015	Urto con ostacolo accidentale	0	0
13/01/2015	Tamponamento	1	0
23/01/2015	Urto con ostacolo accidentale	0	0
24/02/2015	Tamponamento	0	0
10/03/2015	Tamponamento	0	0
19/03/2015	Tamponamento	1	0
31/03/2015	Tamponamento	1	0
04/04/2015	Scontro laterale	0	0
16/04/2015	Tamponamento	1	0
11/04/2015	Caduta da veicolo	1	0
18/05/2015	Caduta da veicolo	1	0
19/05/2015	Scontro laterale	0	0
26/05/2015	Urto con ostacolo accidentale	0	0
02/06/2015	Caduta da veicolo	1	0
23/06/2015	Scontro frontale laterale	1	0
09/07/2015	Scontro frontale laterale	1	0
20/07/2015	Scontro frontale laterale	1	0
05/08/2015	Scontro frontale laterale	1	0
13/08/2015	Scontro frontale laterale	1	0
29/08/2015	Caduta da veicolo	1	0
01/09/2015	Scontro laterale	1	0
08/09/2015	Scontro frontale laterale	0	0
03/10/2015	Scontro frontale laterale	0	0
17/11/2015	Fuoriuscita	0	0
13/02/2016	Anomalie Stradali	0	0

Tabella 3 Elenco degli eventi incidentali

Dall'analisi delle tipologie d'incidente censite è possibile notare che la tipologia più frequente è quella relativa allo scontro frontale/laterale (altamente pericolosa) che registra ben 25 casi (sempre con persone ferite) su 64 incidenti censiti. Accanto a questi, da segnalare anche 14 casi di tamponamento. La motivazione per cui si verificano, frequentemente, queste tipologie di incidente, in numero così importante, può essere addotta alle difficoltà che si presentano agli utenti in ingresso/uscita ai terminal situati sulla via Leonardo da Vinci: infatti, per poter effettuare tali manovre, in particolare le svolte a sinistra, occorre attraversare i flussi che marciano nel senso opposto, creando un punto di conflitto. Questo fattore rappresenta un potenziale pericolo di incidente di tipo frontale-laterale, come testimoniato dall'immagine successiva (Figura 5 Incidente avvenuto sulla via L. da Vinci nell'Aprile 2014). Per quanto riguarda i tamponamenti, questi possono essere causati dai veicoli pesanti

fermi sulla via Leonardo da Vinci che, in attesa di trovare un intervallo temporale utile per svoltare a sinistra ed entrare nei piazzali oppure in attesa di poter entrare all'interno dei piazzali, occupano la sede stradale. Con la realizzazione del tratto in variante si eliminano i punti di conflitto tra le suddette correnti veicolari in quanto si separano le diverse tipologie di traffico: pertanto, eliminando le cause, si ritiene che tali tipologie d'incidente diventeranno sempre meno frequenti.

Figura 5 Incidente avvenuto sulla via L. da Vinci nell'Aprile 2014

Frequente, è anche il caso di fuoriuscite e di ribaltamenti di mezzi pesanti, in prossimità dello svincolo. Questo probabilmente accadono a causa del critico sviluppo geometrico di alcune rampe, in particolare di quella di tipo indiretta che consente l'ingresso sulla S.G.C. FI-PI-LI dalla Via Leonardo da Vinci, provenendo dalla Darsena Toscana. Difatti, si sono verificati una serie di incidenti di questo tipo su questo tratto, come testimoniato anche dall'immagine seguente (Figura 6). Successivamente, nel capitolo inerente alla proposta progettuale, si descrive la modifica proposta a tale rampa, che adottando delle curvature con raggi più elevati rispetto a quelli esistenti, si ottengono delle traiettorie chiaramente più sicure.

Figura 6 Ribaltamento sullo svincolo della S.G.C. avvenuto a Novembre 2015

3.2. Flussi di traffico

Nel presente studio di tesi ci si è avvalsi delle analisi dei flussi di traffico eseguiti dall'Autorità Portuale nell'elaborazione del Piano Regolatore Portuale: in più, tali analisi sono state integrate dai dati di traffico ottenuti dall'Ufficio Trasporti della Provincia di Livorno e dall'Ufficio Mobilità Urbana del Comune di Livorno (riportati in allegato). Tutti i dati ottenuti saranno impiegati nel proseguo del presente lavoro per affrontare lo studio funzionale del progetto. Nel proseguo del capitolo, in particolare, ci si soffermerà ad analizzare alcuni aspetti della serie di dati ottenuti dal Piano Regolatore Portuale, mentre i dati ottenuti dai competenti uffici Provinciali e Comunali risultano allegati alla presente relazione.

Lo studio del traffico terrestre portuale, come già detto nell'inquadramento territoriale, è tema che interessa un ambito territoriale che non è solo portuale bensì anche e prevalentemente esterno al perimetro del porto e caratterizzato come urbano e/o suburbano, sede prevalente di insediamenti residenziali e di servizi, e dove gli spostamenti e i flussi veicolari di tipo produttivo, sia commerciale che industriale, afferenti al porto si sommano e sovrappongono a quelli urbani ed extraurbani non

portuali. Tale ambito è distinto in due sotto-ambiti, indicati nelle Linee Guida per la redazione dei Piani Regolatori Portuali come: il sotto-ambito portuale e il sotto-ambito di interazione città-porto.

I dati che interessano ai fini del presente studio di tesi sono quelli relativi al primo dei suddetti ambiti, cioè quello delle interconnessioni infrastrutturali di collegamento con l'entroterra, più precisamente del traffico generato e attratto dal porto e della sua relazione con la rete infrastrutturale di collegamento lungo il quale esso si distribuisce, che non è ad esclusivo uso del porto e che riguarda essenzialmente le aree del porto commerciale e industriale, storicamente insediate e sviluppate a Nord-Ovest della città, e la domanda di trasporto merci e passeggeri da esse generata e attratta.
In particolare viene analizzato il traffico a regime cioè al termine del periodo previsionale di Piano (anno 2040).
Il traffico terrestre generato dal porto è pari in termini volumetrici a quello generato lato mare, a meno delle quantità di merci trasbordate (sbarcate da una nave e, successivamente, previa sosta in piazzale o magazzino, imbarcate su un'altra) o consumate/trasformate internamente all'area portuale: nel caso di Livorno le attività di trasformazione locali avvengono quasi esclusivamente esternamente ai varchi portuali, per cui i volumi di merci che transitano attraverso i varchi stradali e ferroviari sono sostanzialmente pari a quelli delle merci imbarcate e sbarcate. Peraltro, anche le merci oggetto di trasformazione in ambito locale sono consumate localmente solo in misura limitata, e in misura prevalente avviate alla destinazione finale attraverso le stesse reti di trasporto stradale e ferroviaria di servizio al porto. In conclusione, lato terra vengono movimentati volumi di merci e persone praticamente pari a quelli imbarcati e sbarcati lato mare.
Vengono quindi trattati separatamente con le rispettive specificità i seguenti settori di traffico (handling-category) in termini di volumi e flusso veicolare corrispondente:

- merci in container;
- merci su rotabili (su navi full cargo o ro-ro e miste ro-ro/pax o o ferry o traghetti);
- merci varie in colli;

- merci alla rinfusa solide;
- merci alla rinfusa liquide;
- passeggeri su navi traghetto con auto al seguito (o ro-ro/pax o ferry);
- passeggeri su navi da crociera.

Il "traffico giornaliero" stimato ai fini del P.R.P. non è un dato statistico bensì un indicatore previsionale dimensionale, stimato convertendo un flusso merceologico annuo futuro in un flusso veicolare giornaliero tipo, rappresentativo del giorno feriale ma anche (nei casi in cui non vi sono differenze rimarchevoli tra giorni feriali e festivi come, ad esempio, per i traghetti e le crociere in alta stagione) anche dei giorni festivi. Da tale parametro si deriva, quando lo scopo è quello di correlare il traffico al contesto dell'infrastruttura da esso percorsa, il "traffico nell'ora di punta" (thp), attraverso un coefficiente percentuale che assume normalmente valori compresi fra 10% (coefficiente tipico di circolazione con traffico elevato di tipo urbano o assimilabile, quindi caratterizzata da punte smorzate) e 12-13% (coefficiente tipico di circolazione ad elevata componente "produttiva", riscontrato in sede di indagine locale in corrispondenza di varchi portuali e della viabilità adiacente, riferito alle massime punte giornaliere bidirezionali). In sede di redazione del Piano il thp è stato assunto pari a circa 12%. In particolare, il traffico medio nel giorno tipo è stato ottenuto spalmando su un predefinito numero di giorni il volume di traffico annuo e differenziando questo numero di giorni per tipologia di traffico, non solo per il traffico passeggeri (crociere e navi traghetto) al fine di tener conto della stagionalità dello stesso, ma anche per il traffico merci, con riferimento (per la circolazione dei veicoli merci) al calendario dei giorni di operatività del trasporto merci secondo i Decreti del Ministero delle Infrastrutture relativi alle "direttive per la limitazione alla circolazione stradale fuori dai centri abitati" per gli anni 2012 e 2013, esprimendo tale calendario in 280 giorni lavorativi/anno. Se da un lato tale ipotesi può apparire poco cautelativa nei confronti delle punte settimanali o stagionali, dall'altro si deve considerare che il traffico generato dal porto lato terra è pur sempre il risultato di scali programmati di linea delle navi e dell'esecuzione di attività a terra (prima dell'imbarco e/o dopo lo sbarco) aventi un effetto di laminazione delle punte del traffico stesso.

La somma delle stime di traffico veicolare indotto dal traffico marittimo di container,

di merci su navi Ro/Ro, di rinfuse liquide, di merci varie in colli/auto nuove e rinfuse solide del porto di Livorno, porta ad un flusso medio giornaliero di veicoli merci pesanti e leggeri (auto e bus omogeneizzati) nel 2012 così ripartito per tipologia di traffico:

Handingcategory	Veicoli merci pesanti/giorno	Veicoli passeggeri/giorno (auto+bus omogeneizzati)
Container	1350	-
Ro-Ro + ferry	1450	-
Ferry	-	3000
Rinfuse liquide	1000	-
Merci varie e rinfuse solide	750	-
Auto nuove	400	-
Crociere	-	550
Totale	**4950**	**3550**

Tabella 4 Flusso medio giornaliero per il 2012

Complessivamente risulta un movimento veicolare generato e attratto nel giorno tipo (considerando 1 veicolo pesante pari a 2 veicoli leggeri) pari a circa **13.500** (4950x2 + 3550) autovetture equivalenti al giorno.

La Tabella successiva sintetizza, per le componenti di traffico operate dal porto di Livorno, il traffico di Piano complessivo nel giorno tipo di veicoli merci pesanti, determinato dai rispettivi scenari evolutivi considerati:

Traffico veicolare passeggeri indotto dal traffico marittimo di piano			
Anno	Ro-Ro pax	Crociere	**TOTALE A**
	Veicoli passeggeri omogeneizzati/giorno		
2015	2.834	567	**3.401**
2020	3.038	636	**3.674**
2025	3.257	728	**3.985**
2030	3.492	832	**4.324**
2035	3.742	946	**4.688**
2040	4.012	1.073	**5.085**

Tabella 5 Flusso medio giornaliero di piano (auto & bus)

Anno	Container	Ro-Ro + Ro-Ro pax	Rinfuse liquide	Merci varie / Rinfuse solide	Auto nuove	TOTALE B
	Veicoli passeggeri omogeneizzati/giorno					
2015	1.789	1.563	1.000	797	363	**5.512**
2020	2.164	1.810	1.072	810	409	**6.265**
2025	2.644	2.095	1.149	842	511	**7.241**
2030	3.217	2.423	1.232	853	638	**8.363**
2035	3.895	2.802	1.320	853	798	**9.668**
2040	4.686	3.238	1.415	838	997	**11.174**

Tabella 6 flusso medio giornaliero di piano (veicoli pesanti)

Esprimendo entrambe le componenti del traffico merci e passeggeri in termini omogenei, ossia esprimendo i veicoli merci pesanti in veicoli equivalenti convenzionali (1 veicolo merci pesante = 2 veicoli equivalenti), si ottiene un traffico complessivo giornaliero a regime di (11.174 x 2 + 5.085=27.433) circa **27.500** autovetture equivalenti al giorno. In estrema sintesi si avrebbe a regime un traffico stradale movimentato e attratto dell'ordine di due volte il corrispondente dell'anno 2012.

Ai fini delle valutazioni comparative e ipotizzando un traffico dell'ora di punta pari al 12% del traffico del giorno tipo, il traffico bidirezionale nell'ora di punta generato e attratto da tutte le componenti merci e passeggeri a regime del Piano risulta pari a **3.300** autovetture equivalenti.

In termini localizzativi, si rileva che il movimento veicolare lato terra afferente alla Piattaforma Europa (indotto dal traffico container e dal traffico Ro-Ro) costituisce a regime del Piano (anno 2040) oltre il 70% del movimento veicolare totale lato terra del porto.

Sempre in ambito di studio del P.R.P. è stato effettuato uno studio modellistico di tipo stazionario, avente per oggetto:

1. la *viabilità al contorno del porto* ("di scorrimento" in altro contesto), totalmente compresa nell'ambito urbano ed avente la funzione prevalente di canalizzare gli spostamenti di maggiore lunghezza e caratterizzati dai flussi più elevati. Appartengono a tale livello le strade della maglia viaria di diretto

interesse per l'accessibilità portuale che investono, in particolare, il settore urbano settentrionale occidentale, sia in direzione Nord-Sud (via Leonardo da Vinci–collettore primario del traffico urbano e del porto, in ragione della funzione assolta di adduzione alla S.G.C. Firenze-Pisa-Livorno e al sistema autostradale, via Salvatore Orlando, via Cateratte Nuova e Vecchia), che in direzione Est-Ovest (via Genova, via Mastacchi, via della Cinta Esterna);

2. la *viabilità "primaria*", costituita dai tronchi terminali e passanti delle strade extraurbane, i quali prevalentemente raccolgono e distribuiscono il traffico di interscambio fra il territorio urbano e quello extraurbano, oltre che eventualmente dal traffico di attraversamento rispetto all'area urbana: appartengono a tale livello la S.G.C. Firenze-Livorno-Porto, la statale Aurelia, l'autostrada A12 Genova-Rosignano.

Lo studio è sinteticamente articolato nel confronto dei flussi di traffico generati e attratti dal porto, o meglio misurati ai varchi pubblici urbani dello stesso, attraverso opportune ipotesi di instradamento e assegnazione ai vari itinerari, con il traffico rilevato (per quanto consentito dalle fonti disponibili) lungo le reti viabilistiche di cui sopra. Si precisa in tal modo l'incidenza del traffico portuale sul traffico complessivo, portuale e urbano nel primo caso e portuale ed extraurbano nel secondo caso.

All'epoca della fase conoscitiva del Piano, è stata condotta una campagna di indagini speditiva, avente per oggetto la consistenza dei traffici in alcune sezioni stradali della maglia viaria al contorno del porto fra le quali la via Leonardo da Vinci, oggetto della presente proposta di tesi. Sono state individuate, in particolare, le seguenti tre sezioni di analisi:

* Sezione 1, via Leonardo da Vinci: in vicinanza dello svincolo con la superstrada Strada di Grande Comunicazione") Firenze-Pisa-Livorno, in modo da intercettare tutti o in parte i flussi veicolari da/per i varchi portuali Zara, Valessini, Stazione Marittima, e i movimenti facenti capo agli operatori "frontisti" della stessa via Leonardo da Vinci e di via Salvatore Orlando;

* Sezione 2, via Genova: in vicinanza della rotatoria che smista i flussi tra la stessa via Genova, via S. Orlando, via delle Cateratte, via Leonardo da Vinci, e di collegamento trasversale con la direttrice via Aurelia, che intercetta in parte i flussi veicolari da/per

i varchi portuali Zara, Valessini, Stazione Marittima e i movimenti facenti capo agli operatori “frontisti” della via Salvatore Orlando;

* <u>Sezione 3, via Salvatore Orlando</u>: in prossimità dell'intersezione con via Paleocapa che intercetta i flussi veicolari per il varco portuale Valessini (si assume l’ipotesi che i flussi in uscita siano instradati lungo lo stesso varco portuale Valessini e via delle Cateratte, per le autovetture, attraverso il varco Zara, per i veicoli merci) e Stazione Marittima.

Dall’indagine si traggono le seguenti considerazioni sul livello di servizio della circolazione:

- In generale le autovetture rappresentano sempre la componente di traffico principale, con una quota del 72% dei veicoli conteggiati; le moto rappresentano anch’esse una significativa componente di traffico (oltre il 15% dei veicoli); il traffico di mezzi pesanti per trasporto merci è globalmente dell’ordine del 10% dei veicoli conteggiati;
- I traffici portuali del varco Valessini e nelle sue vicinanze (via Marzocco) e i traffici delle utenze localizzate nella tratta di via Salvatore Orlando fino a via Paleocapa, beneficiano di un’accettabile condizione di accesso stradale;
-Le riserve sul livello di servizio offerto dalla maglia viaria nel settore portuale settentrionale di Livorno sono circoscritte al periodo estivo, laddove l’intero asse di via Leonardo da Vinci assume il ruolo di arteria esclusiva sulla quale si canalizzano tutte le relazioni città-Tirrenia/Marina di Pisa. In condizioni medie giornaliere feriali, invece, il pur ingente flusso veicolare (flussi orari superiori ai 1.100 veicoli equivalenti per direzione di marcia, con una percentuale di mezzi pesanti del 14-15%) è sopportato in modo abbastanza sufficiente dalla viabilità, registrandosi condizioni di deflusso abbastanza regolari, tuttavia, restano dei casi, non del tutto occasionali, in cui si presentano delle manovre di veicoli (su gomma e su rotaia), che rendono la circolazione particolarmente critica. La larghezza della sezione stradale dell’arteria non permette l’esecuzione protetta delle svolte a sinistra, determinate dagli accessi carrai alle varie utenze localizzate lungo via Leonardo da Vinci, inducendo un fattore di pericolosità anche in ragione della prevalente tip
ologia veicolare interessata (autoveicoli merci pesanti);

- Via Salvatore Orlando è percorsa dal solo traffico portuale in ingresso al varco Valessini, in quanto il traffico in uscita da quest'ultimo è instradato lungo la direttrice parallela di via delle Cateratte e, per quanto riguarda i veicoli merci, quasi interamente attraverso il varco Zara, quindi di fatto senza percorrere la via Orlando stessa; il sistema costituito da via Orlando e dalla parallela via Cateratte (avente capacità anche superiore a via Orlando) sembra disporre di capacità adeguata anche alle punte di traffico automobilistico estivo;
- L'asse di via Genova permette l'accesso al porto dalla S.S.1 Aurelia/via Firenze e pur presentando una limitata sezione geometrica (corsia di 3.00-3.50 m penalizzata, tra l'altro, dal punto singolare costituito dal sovrappasso ferroviario), è interessato da significativi flussi veicolari (circa 900 veicoli equivalenti nell'ora di punta per direzione di marcia, con una percentuale di mezzi pesanti dell'11-12%);
- Gli itinerari imperniati su via Salvatore Orlando, via delle Cateratte e via Mastacchi, tutti confluenti su via della Cinta Esterna, caratterizzati dalla sovrapposizione delle funzioni di transito e delle funzioni urbane e turistica, presentano una progressiva perdita di qualità in avvicinamento al varco portuale della Stazione Marittima;
- Con riferimento alle intersezioni stradali che si trovano alla confluenza degli assi viari Nord-Sud (via delle Cateratte, via S. Orlando, via Pera/via Filzi) con l'asse Est-Ovest (via Mastacchi e via della Cinta Esterna) e, ancora, tra via delle Cateratte Nuova e Vecchia, la loro conformazione e regolamentazione (intersezioni a raso con segnaletica di precedenza e solo in un caso, regolamentato con impianti semaforici e cicli distinti per singola manovra) rappresentano elementi di possibile disturbo della circolazione ed occasioni di accodamenti veicolari in corrispondenza a zone residenziali (tipicamente la tratta di via Cateratte Vecchia/via del Testaio/via de' Pazzi). La rotatoria alla confluenza di via Leonardo da Vinci/via Genova/via S.Orlando/via delle Cateratte funziona efficacemente in termini di distribuzione dei flussi;
- Non va peraltro dimenticato che i tempi di percorrenza al contorno dell'area portuale sono pur sempre minimi rispetto ai tempi complessivi di trasporto da e per le origini e destinazioni finali.

Al fine di stabilire l'incidenza dei traffici del porto di Livorno sul totale dei flussi veicolari transitanti sulla rete cittadina di diretto interesse (rete stradale afferente ai

varchi portuali, così come definita precedentemente), si sono posti a confronto i flussi indotti dal porto (o più propriamente transitanti ai varchi) con i flussi veicolari rilevati lungo le strade oggetto di indagine, nelle fasce orarie di punta (7.00-9.00 e 17.00-19.00).

Dal confronto del traffico ai varchi con quello viabilistico esterno si traggono le seguenti considerazioni:

• il traffico di veicoli pesanti in entrata registrato al varco Valessini corrisponde a quello rilevato lungo via Orlando; viceversa l'incidenza del traffico di auto in entrata al varco rispetto al flusso rilevato lungo via Orlando è scarso (14% del totale);

• il traffico di veicoli pesanti in entrata registrato al varco Valessini (di cui anche al punto precedente), è inferiore al traffico totale di veicoli pesanti rilevato lungo via Leonardo da Vinci e viale Genova, essendo la differenza (circa 40-50 mezzi/ora) attribuibile sia agli operatori "frontisti" di via Leonardo da Vinci, via Orlando e via Marzocco, sia a traffico ro-ro all'imbarco operato occasionalmente alla Stazione Marittima anziché al Porto Nuovo dal Livorno Terminal Marittimo; l'incidenza del traffico di auto in entrata al varco è trascurabile (8% del totale). Il traffico di auto lungo via Leonardo da Vinci e viale Genova è consistente, assommando a circa 2.300 auto in direzione porto nelle 4 ore rilevate (poco meno di 600 auto/ora);

• il traffico di veicoli pesanti in uscita registrato al complesso dei varchi Valessini e Zara (quest'ultimo calcolato tenendo conto dell'uscita di soli veicoli pesanti), è inferiore al traffico totale di veicoli pesanti rilevato lungo via Leonardo da Vinci e viale Genova, nella misura di circa 80 mezzi/ora, differenza attribuibile alle ragioni di cui al punto precedente, e alla presenza di una corrente di veicoli che da via Genova si immette in destra su via Leonardo da Vinci (diretta probabilmente verso Darsena Toscana oppure verso i frontisti di via Leonardo da Vinci), risultando in tal modo contata due volte; l'incidenza del traffico di auto in uscita al varco è trascurabile (9% del totale). Il traffico di auto lungo via Leonardo da Vinci e viale Genova è consistente, assommando a quasi 3.000 auto in direzione opposta al porto nelle 4 ore rilevate (poco meno di 750 auto/ora), volume non significativo se rapportato alla capacità di transito di una corsia ma potenzialmente assai critico.

In conclusione, essendo i veicoli sia da/per i "frontisti" di via Orlando via Marzocco e via Leonardo da Vinci sia da/per il varco Stazione Marittima di fatto anch'essi indotti

dal traffico portuale, si può ragionevolmente confermare che il traffico merci portuale costituisce la pratica totalità del traffico pesante lungo la direttrice via Orlando/via Cateratte e via Leonardo da Vinci/via Genova, mentre considerando anche il traffico di auto l'incidenza del traffico portuale rispetto al traffico rilevato, in corrispondenza delle sezioni stradali oggetto di indagine, risulta la seguente (flusso medio orario bidirezionale medio delle quattro ore di rilevamento, valori arrotondati):

Strada	Traffico medio rilevato [veic./h]	Traffico portuale stimato [veic./h]	Traffico portuale/totale [%]
Via L. da Vinci	1400-1450	200-250	16%
Via S. Orlando	900-950	200	22%

Tabella 7 Flusso medio orario bidirezionale

I flussi di traffico, riportati in allegato, forniti come già detto dagli uffici provinciali e comunali, dimostrano l'esattezza dei risultati appena mostrati. In particolare, sono stati studiati i dati di traffico provinciali, rilevati sulla Via Leonardo da Vinci dalla postazione elettronica di tipo fisso posizionata in prossimità dell'ingresso della S.G.C. FI-PI-LI, martedì 14 Aprile e giovedì 16 Aprile 2015 in due porzioni temporali distinte, dalle 7:00 alle 9:00 e dalle 17:00 alle 19:00 e tale analisi conferma i valori dei flussi evidenziati nelle tabelle precedenti.

Di seguito l'immagine che raffigura il rilevatore di traffico automatico posizionato sulla via Leonardo da Vinci.

Figura 7 Rilevatore automatico di traffico di tipo fisso

4. PROPOSTA PROGETTUALE

La proposta progettuale di cui al presente lavoro di tesi, come già accennato nella introduzione, comprende una serie di interventi distinti, tutti rientranti nel territorio del Comune di Livorno, da eseguirsi sulla via Federigo Enriques, sulla via Leonardo Da Vinci e sul tratto di linea ferroviaria a servizio dei terminal ubicati lungo la via Leonardo Da Vinci. Nella fattispecie si prevede di: prolungare la via Federigo Enriques collegandola, in maniera diretta, allo svincolo della S.G.C. FI-PI-LI, realizzare il raddoppio della via Leonardo da Vinci, adeguare il tracciato esistente della suddetta via, e infine, adeguare la linea ferroviaria di collegamento tra i terminal situati lungo la via Leonardo da Vinci e la stazione di Calambrone, in modo da garantire la continuazione del servizio esistente. Gli interventi, nel loro complesso, hanno un unico scopo che è quello di rendere più fluido e razionale il flusso di traffico che orbita intorno all'area portuale di Livorno e quindi di fornire una organizzazione maggiormente sicura alla viabilità in ingresso ed in uscita. Inoltre, modificando il tracciato ferroviario, si riducono i punti di conflitto in quanto le quattro intersezioni attualmente esistenti tra la via Leonardo da Vinci e il collegamento ferroviario si riducono a una soltanto, ubicata in prossimità dell'inizio del viadotto esistente all'ingresso nella S.G.C. FI-PI-LI.

Questa nuova viabilità, permette, inoltre, di controllare facilmente il traffico in entrata e in uscita dal porto (aspetto molto importante per l'Ente amministrativo portuale), tramite delle barriere elettroniche posizionate nelle entrate e nelle uscite. Questa forma di controllo, con la nuova proposta progettuale, risulta nettamente semplificata, in quanto sostanzialmente si hanno solamente tre entrate e tre uscite. Un controllo del genere con la viabilità attuale risulta chiaramente non praticabile, essendoci un numero quasi non quantificabile di ingressi e di uscite. In particolare, le barriere in ingresso sono previste:

- Due sulla via Leonardo da Vinci, di cui la prima in prossimità del vecchio passaggio a livello, nella zona Ovest del Porto e la seconda nei pressi del torrente Ugione, nella parte Est;

- Un’altra è raggiungibile dall’uscita della S.G.C. FI-PI-LI “Darsena Toscana Est-via Mogadiscio”, nei pressi della palazzina della Compagnia Lavoratori Portuali.

Per quanto riguarda le uscite, non è un caso che una è stata prevista in prossimità dell’attuale rampa di entrata nella S.G.C. FI-PI-LI, nei pressi dello stabilimento “D’Alesio”: ciò consente, infatti, di avere un controllo efficiente dei mezzi in uscita dal Porto. D’altra parte, questa postazione consente di smaltire i flussi in maniera soddisfacente, potendo imboccare la S.G.C. sia in direzione Pisa-Firenze che in direzione Litorale tirrenico. La posizione delle altre due uscite coincide con quella delle entrate ubicate in via Leonardo da Vinci e già definite in precedenza. Per una maggiore chiarezza, il tutto è rappresentato negli elaborati grafici in allegato alla presente relazione.

Di seguito, dopo aver elencato i riferimenti normativi a cui ci si è attenuti nello sviluppo delle soluzioni proposte, si descrivono dal punto di vista geometrico e funzionale le proposte progettuali ed infine si procede all’analisi delle verifiche, con i risultati ottenuti tramite il software “Civil Design” della Digicorp Ingegneria S.r.l. .

Per gli interventi oggetto di studio, i parametri geometrici degli elementi dell'asse stradale sono stati definiti in modo da rispettare i limiti dinamici e le condizioni ottiche prescritte dalle normative, ai fini della sicurezza e del comfort di guida.

In particolare, i raggi degli archi circolari utilizzati nei raccordi planimetrici sono stati determinati seguendo i criteri previsti nel D.M. 05/11/2001 e nel D.M. 19/04/2006 in funzione della velocità di progetto, delle pendenze trasversali della piattaforma e dalle tipologie delle rampe.

Per quanto attiene la geometria dell’asse stradale, compatibilmente con i vincoli territoriali e amministrativi presenti nell’area di progetto, sono state verificate le lunghezze massime e minime dei rettifili, sono stati esaminati i rapporti tra i raggi R1 e R2 delle curve che si succedono lungo il tracciato, verificando che il rapporto venga a collocarsi nelle “zone buone o accettabili” della tabella che regola tali condizioni, e sono state inserite le necessarie curve di transizione (clotoidi e clotoidi di flesso).

Anche per quanto riguarda l'altimetria, sono state verificate le prescrizioni normative, sia per quanto riguarda le pendenze longitudinali massime, in salita e in discesa, che i collegamenti tra due livellette successive tramite raccordi parabolici, come previsto dal D.M. 05/11/2001.

4.1. Riferimenti Normativi

Nella redazione del progetto di cui alla presente tesi, sono state seguite le indicazioni e le prescrizioni indicate nelle seguenti Normative vigenti.

Per ciò che concerne la ***progettazione stradale***, si è fatto riferimento ai seguenti riferimenti legislativi:

• *D.M. 05/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade";*

•*D.M. 19/04/2006 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali";*

• *Modifica del decreto 5 novembre 2001, n. 6792, recante «Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade» - D.M. Infr. e Trasp. 22 Aprile 2004;*

Per ciò che riguarda la progettazione della ***pista ciclabile***:

• *Regolamento recante norme per la definizione delle caratteristiche tecniche delle piste ciclabili D.M. LL.PP. 30 Novembre 1999, n.5579.*

E' stato inoltre fatto riferimento alle seguenti normative sulla ***sicurezza stradale***:

• *Nuovo Codice della Strada - D.L. 30 Aprile 1992, n.285;*

• *Regolamento di esecuzione e di attuazione del Nuovo Codice della Strada - D.P.R. 16 Dicembre 1992, n.495;*

Per quanto concerne la progettazione delle ***barriere di sicurezza*** stradale si è fatto riferimento a:

• *Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e le prescrizioni tecniche per le prove delle barriere di sicurezza stradale - D.M. Infr. e Trasp. 21 Giugno 2004;*

- *Direttiva sui criteri di progettazione, installazione, verifica e manutenzione dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali - D.M.Infr. e Trasp. 25 Agosto 2004;*

4.2. Prolungamento della via Federigo Enriques a collegamento con la S.G.C. FI-PI-LI

4.2.1. Andamento planimetrico

La via Federigo Enriques è una strada comunale che si dirama dalla via Aurelia, si sviluppa in direzione Ovest e, attualmente, termina in corrispondenza della linea ferroviaria Roma-Pisa. L'intervento di cui alla presente tesi, prevede il prolungamento dell'attuale tracciato fino a collegarlo direttamente con lo svincolo "Livorno centro" della S.G.C. "Firenze-Pisa-Livorno". Ciò sarà ottenuto mediante lo scavalcamento non solo della linea ferroviaria Roma-Pisa, ma anche dei binari che si dipartono dalla stazione di Calambrone e che realizzano il collegamento con le darsene del Porto di Livorno. Tale realizzazione sarà classificata come strada urbana di quartiere di categoria E, con velocità di progetto compresa tra 40 e 60 Km/h e in rispetto, inoltre, alle prescrizione previste per l'adeguamento a rampa bidirezionale di tipo diretto, trattandosi di un collegamento con lo svincolo a livelli sfalsati esistente.

Il grande vantaggio apportato da quest'opera, è quello di realizzare un collegamento diretto tra la zona artigianale denominata del "Picchianti" e la S.G.C. FI-PI-LI e, pertanto, il collegamento diretto con il Porto di Livorno: quest'ultimo comporta un notevole alleggerimento dei flussi di traffico veicolare in transito sulla via Aurelia in direzione Porto e in direzione Firenze.

Come detto, attualmente, la strada è a fondo chiuso e si interrompe in corrispondenza della linea ferroviaria Roma-Pisa, nonché dei fasci di binari a servizio della stazione di Calambrone. Lo studio di cui alla presente tesi, prevede di realizzare il prolungamento della via Federigo Enriques, mediante un'opera di scavalcamento del sedime ferroviario: il nuovo tracciato lo attraverserà pressocchè perpendicolarmente, grazie all'inserimento di due curve circolari, una sinistrorsa ed una destrorsa, percorrendo il tracciato dalla via Aurelia in direzione Porto, i cui parametri geometrici sono dettagliatamente indicati nella tabella seguente. Il tratto finale del prolungamento s'innesta direttamente sul viadotto esistente dello svincolo della

S.G.C. FI-PI-LI. Quindi, la proposta progettuale si sviluppa per un tratto in rilevato e per un tratto in viadotto fino a collegarsi a quello dello svincolo esistente.

La tabella riportata di seguito, indica le caratteristiche degli elementi geometrici costituenti il tracciato della nuova strada:

Tipo	Prog.I. [m]	Prog.F. [m]	Svil. [m]	Parametro [m]	Raggio I. [m]	Raggio F. [m]	Verso	pt dx [%]	pt sx [%]	Vel. [km/h]
RETTIFILO	0.000	315.435	315.435	0.000	0.000	0.000		-2.500	-2.500	60
CLOTOIDE	315.435	348.303	32.868	76.917	0.000	180.000	Sx	0.000	0.000	60
ARCO	348.303	390.923	42.620	0.000	180.000	180.000	Sx	2.707	-2.707	60
CLOT. FLESSO E	390.923	419.735	28.812	72.015	180.000	0.000	Sx	0.000	0.000	60
CLOT. FLESSO U	419.735	456.779	37.044	72.015	0.000	140.000	Dx	0.000	0.000	60
ARCO	456.779	499.098	42.319	0.000	140.000	140.000	Dx	-3.181	3.181	60
CLOTOIDE	499.098	576.975	77.876	104.416	140.000	0.000	Dx	0.000	0.000	60
RETTIFILO	576.975	731.641	154.667	0.000	0.000	0.000		-2.500	-2.500	60

Tabella 8 Parametri geometrici (planimetria), prolungamento via Federigo Enriques

4.2.2. Andamento altimetrico

Il tracciato presenta tre livellette collegate tra loro da due raccordi verticali parabolici, uno convesso *(dosso)* e uno concavo *(sacca)*. La pendenza delle livellette è contenuta nei limiti previsti dalle Norme per le strade di tipo E, cioè minore o uguale dell'8%: i relativi dettagli sono riassunti nella seguente tabella:

Vertici

	N.	Progressiva	Quota	Parziale	Parziale Res.	i (%)	Dislivello	Lunghezza	Lunghezza R.	Esito
▸	0	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	1	129.07	2.10	129.07	91.47	0.30	0.39	129.07	91.47	
	2	343.95	12.84	214.87	136.98	5.00	10.74	215.14	137.16	
	3	731.64	11.40	387.69	347.41	-0.37	-1.44	387.70	347.41	

Tabella 9 Parametri geometrici delle livellette, prolungamento Via Federigo Enriques

Innestandosi ad uno svincolo esistente, è stata rispettata la prescrizione relativa alle rampe di tipo diretto con una velocità di progetto di 60 km/h, che è più stringente in termini di pendenze: tale prescrizione, infatti, porta a contenere il valore della pendenza al 5%.

Nel tratto in viadotto, è vincolante il rispetto dell'altezza tra l'intradosso dello stesso e la superficie viabile del tronco che si distacca dalla Via Leonardo da Vinci per immettersi sulla S.G.C. FI-PI-LI che passa, appunto, al di sotto della Via Federigo Enriques: tale franco da rispettare è pari a 5,00 m. Altro franco da rispettare nello

sviluppo in quota del viadotto, molto più vincolante, è quello rispetto al piano del ferro delle rotaie, infatti l'altezza minima da mantenere tra tale piano e l'intradosso del viadotto è pari a 6,50 m. Il rispetto di tali franchi, in altimetria, può essere consultato e verificato negli elaborati grafici in allegato, in particolare nel profilo longitudinale di tale tracciato.

4.2.3. Sezione trasversale

La piattaforma stradale del nuovo tratto in prolungamento è formata da una carreggiata a due corsie una per ogni senso di marcia. Le dimensioni di ciascuna corsia sono di 3,50 m e di 1,00 m di banchina pavimentata, per una larghezza trasversale complessiva della carreggiata pari 9,00. Una parte del tracciato si sviluppa su opera d'arte e un'altra su rilevato di altezza variabile tra 1,00 m e 1,50 m, con scarpata di pendenza 2/3 e alla base sono previsti fossi di guardia di 0,70 m di larghezza per la raccolta delle acque. L'intervallo di velocità di progetto è compreso tra 40 km/h e 60 km/h: pertanto, il valore minimo consentito dalla Normativa per il raggio della curva circolare è di 52 m. In aggiunta, essendo un tronco che si innesta ad uno svincolo esistente, è stata rispettata la prescrizione più stringente del raggio planimetrico minimo per le rampe che, con una velocità di progetto di 60 Km/h, risulta essere di 120 m.

In rettifilo, la pendenza trasversale della semicarreggiata sarà mantenuta costante e pari al 2,50%. La pendenza trasversale per garantire la massima stabilità in curva, non essendoci curve con raggio compreso tra quello minimo e R* (pari a 120,00 m), varia in funzione del valore assunto dal raggio ed è valutata in funzione dello stesso. I valori sono inseriti nella tabella precedente relativa alla descrizione degli elementi planimetrici (Tabella 8), con la descrizione dei parametri geometrici degli elementi del tracciato. Nelle curve di transito, invece, la pendenza varia dal 2,5% al -2,5%.

Le banchine pavimentate saranno raccordate con gli elementi marginali contigui dello spazio stradale (scarpate, cunette, marciapiedi) mediante elementi di raccordo che possono essere costituiti, a seconda delle situazioni, da arginelli o fasce di raccordo (cigli), destinati ad accogliere gli eventuali dispositivi di ritenuta. L'arginello, dimensionato in funzione della larghezza di lavoro del dispositivo di ritenuta, ha

larghezza pari a 1,10 m e altezza rispetto alla banchina di 0,10 m; tale elemento sarà raccordato alla scarpata mediante un arco le cui tangenti hanno lunghezza non inferiore a 0,50 m. La tabella seguente riassume le caratteristiche funzionali e prestazionali del tracciato:

Limite di velocità [Km/h]	**50**
Numero delle corsie per senso di marcia	1
Limite inferiore velocità di progetto [Km/h]	40
Limite superiore velocità di progetto [Km/h]	60
Larghezza della corsia di marcia [m]	3,50
Larghezza minima dello spartitraffico [m]	-
Larghezza minima della banchina in sinistra [m]	-
Larghezza minima della banchina in destra [m]	0,50
Larghezza della corsia di emergenza [m]	-
Larghezza minima del margine interno [m]	0,50
Larghezza minima del margine laterale [m]	-
LIVELLO DI SERVIZIO	C (1 corsia)
Portata di servizio per corsia (flussi bilanciati nei due sensi)	800 autoveic. equiv./ora
Larghezza minima dei marciapiedi [m]	1,50
Regolazione della sosta	-
Regolazione dei mezzi pubblici	Piazzole di fermata o eventuale corsia riservata
Regolazione del traffico pedonale	Su marciapiedi
Accessi	Ammessi

Tabella 10 Caratteristiche funzionali e prestazionali, prolungamento della via Federigo Enriques

Nella figura e nella tabella seguenti sono riportate le caratteristiche geometriche degli elementi marginali:

ELEMENTO	DENOMINAZIONE	DIMENSIONE
s	Striscia di delimitazione	0,15 m
m	Bordo carreggiata	=0,30 m
i_c	Pendenza trasversale carreggiata	
	In rettifilo	2,5%
	In curva	$2,5\%<i_c<3,5\%$
i_b	Pendenza trasversale banchina	i_c
c_r	Ciglio o arginello in rilevato	1,00 m
d	Raccordo	1,00 m
c_s	Ciglio in scavo	c_r
i_a	Pendenza trasversale c_r e c_s	4%
l_c	Larghezza cunetta	0,80 m
p_c	Profondità cunetta	0,70 m
b	banchina	1,00 m

Tabella 11 Elementi caratteristici della sezione stradale, prolungamento via Federigo Enriques

4.2.4. Viadotto

Il prolungamento della via Federigo Enriques si sviluppa in viadotto per un tratto di lunghezza pari a circa 500,00 m: questo perché è necessario superare la rete ferroviaria Roma-Genova e il collegamento con la stazione Calambrone-Porto. In fondo alla via Federigo Enriques, per garantire la continuità dei flussi attuali e l'accesso alle attività presenti a margine della strada, è prevista la realizzazione di due corsie in affiancamento al nuovo tracciato che si uniranno in corrispondenza della linea ferroviaria, sotto al viadotto, consentendo, così, oltre all'accesso alle attività, l'inversione di marcia. Il tratto in viadotto è quello compreso tra la sezione 5 e la sezione 22. E' formato da n.ro 10 campate prefabbricate in calcestruzzo armato precompresso di interasse pari a 30,00 m, da n.ro 3 campate da 46,00 m e da n.ro 1 di 50,00 m in acciaio, ubicate in corrispondenza dell'attraversamento del sedime ferroviario.

Si inseriscono di seguito le sezioni trasversali tipo dell'intervento proposto:

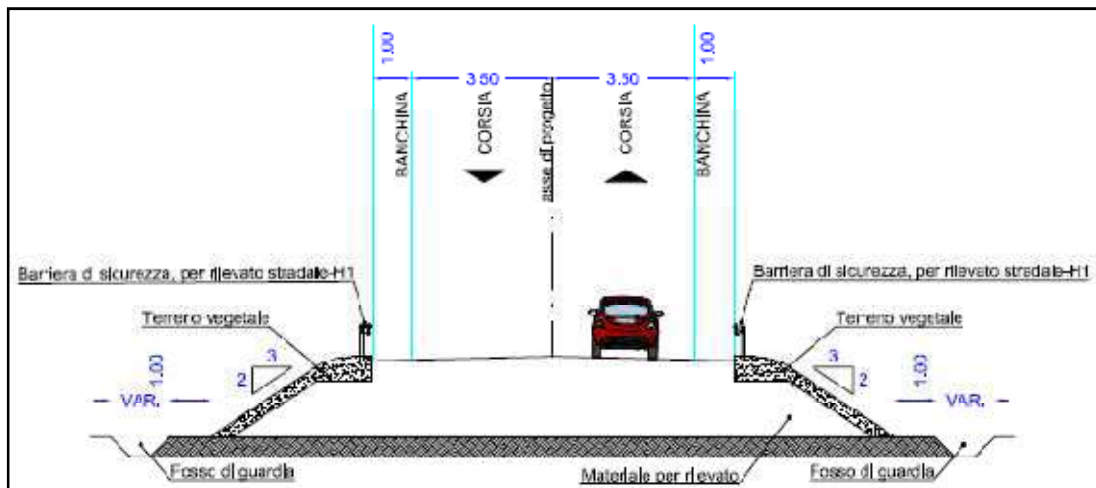



Figura 8 Sezione tipo in rilevato, prolungamento via Federigo Enriques

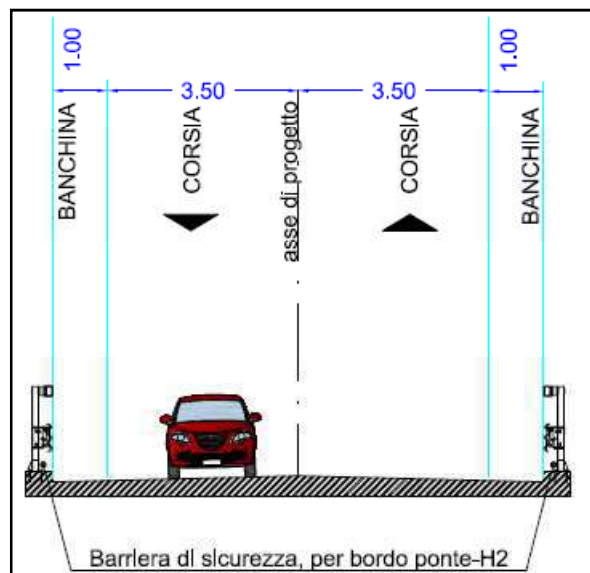



Figura 9 Sezione tipo in viadotto, prolungamento via Federigo Enriques

4.2.5. Esame del diagramma delle velocità

Il diagramma delle velocità ha la funzione di verificare che la velocità sia contenuta entro i limiti previsti per la categoria di strada, in questo caso pari a 60 km/h. È possibile osservare che sulle curve presenti, la velocità si mantiene al di sotto del limite; la sua massima variazione tra due curve consecutive è inferiore ai 15 km/h, come consigliato dalla normativa. Nelle curve di transito, le variazioni di velocità avvengono con moto uniformemente vario con accelerazione di modulo pari a 0,8m/sec^2; anche in questi tratti la velocità massima che si raggiunge è inferiore al limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto.

Di seguito si riportano le tabelle con l'indicazione delle sezioni e dei dati planimetrici e altimetrici:

Nome	Progressiva [m]	Parziale [m]	Distanza sinistra [m]	Distanza destra [m]	Rotazione [gon]	Coord. X [m]	Coord. Y [m]	Elemento Base	Informazioni
1	0.001	0.000	20.000	20.000	0.000	1607339.399	4826189.733	RETTIFILO	
2	50.000	49.999	20.000	20.000	0.000	1607309.009	4826229.437	RETTIFILO	
3	100.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1607278.618	4826269.141	RETTIFILO	
4	150.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1607248.228	4826308.845	RETTIFILO	
5	200.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1607217.837	4826348.550	RETTIFILO	
6	250.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1607187.447	4826388.254	RETTIFILO	
7	300.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1607157.057	4826427.958	RETTIFILO	
8	315.435	15.435	20.000	20.000	0.000	1607147.678	4826440.214	CLOTOIDE	
9	348.303	32.868	20.000	20.000	0.000	1607126.921	4826465.685	ARCO	
10	369.613	21.310	20.000	20.000	0.000	1607111.587	4826480.466	ARCO	
11	390.923	21.310	20.000	20.000	0.000	1607094.614	4826493.331	CLOT. FLESSO E	
12	419.735	28.812	20.000	20.000	0.000	1607069.851	4826508.043	CLOT. FLESSO U	
13	450.000	30.265	20.000	20.000	0.000	1607043.883	4826523.567	CLOT. FLESSO U	
14	456.779	6.779	20.000	20.000	0.000	1607038.362	4826527.500	ARCO	
15	477.938	21.160	20.000	20.000	0.000	1607022.431	4826541.395	ARCO	
16	499.098	21.160	20.000	20.000	0.000	1607008.774	4826557.531	CLOTOIDE	
17	550.000	50.902	20.000	20.000	0.000	1606985.120	4826602.457	CLOTOIDE	
18	576.975	26.975	20.000	20.000	0.000	1606975.622	4826627.703	RETTIFILO	
19	600.000	23.025	20.000	20.000	0.000	1606967.755	4826649.343	RETTIFILO	
20	650.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606950.671	4826696.334	RETTIFILO	
21	700.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606933.587	4826743.325	RETTIFILO	
22	731.640	31.640	20.000	20.000	0.000	1606922.777	4826773.060	RETTIFILO	

Tabella 12 Dati planimetrici, prolungamento via F. Enriques

Nome	Progressiva [m]	Parziale [m]	TERRENO	PROGETTO	Informazioni
1	0.001	0.000	1.688	1.709	
2	50.000	49.999	1.533	1.859	
3	100.000	50.000	1.683	2.032	
4	150.000	50.000	1.540	3.229	
5	200.000	50.000	1.633	5.642	
6	250.000	50.000	1.798	8.143	
7	300.000	50.000	1.816	10.643	
8	315.435	15.435	1.881	11.359	
9	348.303	32.868	2.042	12.360	
10	369.613	21.310	2.249	12.624	
11	390.923	21.310	2.284	12.605	
12	419.735	28.812	2.263	12.503	
13	450.000	30.265	2.217	12.396	
14	456.779	6.779	2.202	12.372	
15	477.938	21.160	2.312	12.297	
16	499.098	21.160	2.457	12.222	
17	550.000	50.902	2.820	12.042	
18	576.975	26.975	2.751	11.947	
19	600.000	23.025	3.865	11.866	
20	650.000	50.000	6.419	11.689	
21	700.000	50.000	9.370	11.512	
22	731.640	31.640	11.400	11.400	

Tabella 13 Dati altimetrici, prolungamento via F. Enriques

4.3. Raddoppio della via Leonardo Da Vinci con separazione delle funzioni

4.3.1. Andamento planimetrico

Il raddoppio della via Leonardo da Vinci è un intervento, peraltro, ipotizzato nel Piano Regolatore del Porto di Livorno. Il suo scopo principale è quello di realizzare una viabilità alternativa a quella attuale in maniera da destinare l'esistente via Leonardo da Vinci ad esclusivo traffico veicolare per le attività portuali. Il grande vantaggio che questa soluzione comporta è quello di operare una netta divisione dei flussi di traffico, evitando le pericolose commistioni tra flussi di mezzi pesanti (che, spesso, trasportano anche sostanze molto pericolose) e veicoli leggeri. Su questo tratto di strada, infatti, circolano diverse categorie di traffico: si va dai mezzi pesanti ad uso commerciale, industriale e portuale, al traffico leggero di tipo civile a cui, nel periodo

estivo, si aggiunge un'importante componente di traffico di tipo turistico-balneare, composta anche da scooter e biciclette in notevole quantità. A tale proposito, si sottolinea anche che il Comune di Livorno ha in progetto la realizzazione di una pista ciclabile che si sviluppa in parte parallelamente alla via Leonardo da Vinci, nel tratto prospiciente alla stazione ferroviaria di Calambrone.

Il tracciato planimetrico della nuova strada è di categoria "E", strada urbana di quartiere. Tra le due strade, ovvero tra quella destinata alla viabilità portuale e quella destinata alla viabilità ordinaria, sarà collocata una linea ferroviaria, non elettrificata, che permette il collegamento tra la stazione di Calambrone e i terminal situati sulla via Leonardo da Vinci, proprio come avviene attualmente. I dettagli relativi alla linea ferroviaria saranno descritti nel proseguo della presente relazione, nel paragrafo dedicato a tale proposta.

L'area sulla quale si sviluppa il tracciato si presenta pressocchè pianeggiante con quote che variano tra i valori di 1 m e 3 m s.l.m.. Gran parte del sedime del nuovo tracciato è attualmente occupato dai tronchi di manovra dei binari della stazione di Calambrone che, a seguito dell'ammodernamento della rete ferroviaria a servizio del Porto, saranno dismessi. Tuttavia, tale soluzione comporta la dismissione di soltanto due binari della stazione di Calambrone: considerato, tuttavia, l'elevato numero di binari attualmente a servizio della stessa si ritiene che tale riduzione risulti sostenibile, anche in considerazione del traffico presente.

In direzione Sud, l'intervento oggetto di studio del presente lavoro di tesi ha inizio nei pressi del torrente Ugione: il nuovo tracciato si sviluppa parallelamente a quello attuale di via Leonardo Da Vinci, per una lunghezza complessiva di circa 1000,00 m. Prosegue, quindi, in direzione Nord (ingresso Livorno centro della S.G.C. FI-PI-LI), mediante un lungo rettifilo, le cui caratteristiche geometriche sono dettagliatamente descritte nell'apposita tabella posta in fondo al presente paragrafo.

Come già detto, in questo tratto la nuova strada interessa il sedime dei binari ferroviari della stazione di Calambrone: tali binari risultano di secondaria importanza essendo attualmente utilizzati al solo scopo di deposito vagoni merci, formazione dei convogli treni-merci per la movimentazione dei materiali provenienti dalle darsene.

Inoltre, perderanno ulteriormente importanza a seguito dell'ammodernamento degli stessi, secondo quanto descritto nel paragrafo della presente tesi ad essi dedicato. Nel tratto finale, in corrispondenza della sezione 20, ubicata alla progressiva 950,00 m, la nuova strada si discosta, ancora una volta, dall'attuale via Leonardo da Vinci, per favorire così l'attraversamento dei binari che si svilupperanno nella zona compresa tra il nuovo raddoppio e l'attuale via Leonardo da Vinci.

In corrispondenza della sezione 21, ubicata alla progressiva 992,31 m, nei pressi dei terminal "Costiero Gas Livorno" e "Costieri D'Alesio", le due corsie si separano: quella in direzione Nord, transitando al di sotto del prolungamento della via Enriques (anch'esso oggetto di studio nel presente lavoro di tesi e descritto al paragrafo precedente), si collega tramite una rampa all'attuale svincolo "Livorno Centro" della S.G.C. FI-PI-LI, dove si innesta, peraltro, anche il prolungamento della via Enriques, permettendo agli utenti di dirigersi in direzione Firenze o Litorale Tirrenico. La corsia diretta a Sud si collega anch'essa al nuovo viadotto e tale corsia sarà utilizzata dagli utenti in uscita dalla S.G.C. FI-PI-LI e diretti verso il centro di Livorno.

Nel proseguo, per semplicità di interpretazione, si suddividerà il tracciato in tre tratti: tratto A-B dalla sezione 1 alla 21, è la parte di tracciato in rettilineo, parallelo alla via Leonardo da Vinci; tratto B-C dalla sezione 1 alla sezione 12, rappresentativo della rampa in entrata alla S.G.C. FI-PI-LI provenendo da Livorno; tratto C-D dalla sezione 1 alla sezione 9, rappresentativa della rampa di uscita dalla Strada di Grande Comunicazione e in direzione Livorno centro. Le tabelle riportate nel proseguo, indicano le caratteristiche degli elementi geometrici costituenti il tracciato della nuova strada, con riferimento a tali tratti:

Tipo	Prog I [m]	Prog F [m]	Svil [m]	Parametro [m]	Raggio I [m]	Raggio F [m]	Verso	pt dx [%]	pt sx [%]	Vel [km/h]
RETTIFILO	0.000	992.319	992.319	0.000	0.000	0.000		-2.500	-2.500	60

Tabella 14 Descrizione parametri geometrici, raddoppio via L. da Vinci: tratto A-B

Tipo	Prog.I. [m]	Prog.F. [m]	Svil. [m]	Parametro [m]	Raggio I. [m]	Raggio F. [m]	Verso	pt dx [%]	pt sx [%]	Vel. [km/h]
ARCO	0.000	72.728	72.728	0.000	120.000	120.000	Sx	6.929	-6.929	60
CLOTOIDE	72.728	106.682	33.953	63.831	120.000	0.000	Sx	0.000	0.000	60
RETTIFILO	106.682	361.927	255.245	0.000	0.000	0.000		-2.500	-2.500	60

Tabella 15 Descrizione parametri geometrici, raddoppio via L. da Vinci: tratto B-C

Tipo	Prog.I. [m]	Prog.F. [m]	Svil. [m]	Parametro [m]	Raggio I. [m]	Raggio F. [m]	Verso	pt dx [%]	pt sx [%]	Vel. [km/h]
RETTIFILO	0.000	197.791	197.791	0.000	0.000	0.000		-2.500	-2.500	60
CLOTOIDE	197.791	239.370	41.579	86.512	0.000	180.000	Dx	0.000	0.000	60
ARCO	239.370	299.079	59.709	0.000	180.000	180.000	Dx	-5.346	5.346	60

Tabella 16 Descrizione parametri geometrici, raddoppio via L. da Vinci: tratto C-A

4.3.2. Andamento altimetrico

Il tracciato, nel tratto A-B presenta due livellette collegate tra loro da un raccordo verticali parabolico concavo (sacca). La pendenza delle livellette è contenuta nei limiti delle Norme per le strade di tipo E, cioè minore o uguale dell'8%.

Il tratto B-C (a senso unico), che si stacca dal nuovo raddoppio passando sotto al prolungamento della Via Federigo Enriques e si innesta allo svincolo esistente della S.G.C. FI-PI-LI, è costituito da tre livellette, collegate tra loro da due raccordi verticali parabolici, uno concavo (sacca) e uno convesso (dosso). Tali livellette rispettano la pendenza longitudinale massima del 5% (in salita), valore prescritto per le rampe di tipo diretto, riferita alla velocità di progetto di 60 Km/h.

Il tratto C-B (a senso unico), che permette l'uscita dalla S.G.C. FI-PI-LI, è costituito da tre livellette collegate tra loro da due raccordi verticali parabolici, uno convesso (dosso) ed uno concavo (sacca). Tali livellette rispettano la pendenza longitudinale massima del 5% (in discesa), valore prescritto per le rampe di tipo diretto, riferita alla velocità di progetto di 60 Km/h. Le tabelle di seguito riportate riassumono le caratteristiche degli elementi geometrici sopra descritti e l'esito positivo delle verifiche:

Vertici

N.	Progressiva	Quota	Parziale	Parziale Res.	i (%)	Dislivello	Lunghezza	Lunghezza R.	Esito
0	0.00	2.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	462.16	1.80	462.16	461.13	-0.17	-0.78	462.16	461.13	
2	992.31	2.73	530.15	529.12	0.18	0.93	530.15	529.12	

Tabella 17 Parametri geometrici delle livellette, raddoppio via L.da Vinci: tratto A-B

Vertici

N.	Progressiva	Quota	Parziale	Parziale Res.	i (%)	Dislivello	Lunghezza	Lunghezza R.	Esito
0	0.00	2.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	36.11	2.77	36.11	3.32	0.11	0.04	36.11	3.32	
2	234.45	11.66	198.34	130.38	4.48	8.89	198.54	130.51	
3	361.92	11.19	127.47	92.29	-0.37	-0.47	127.47	92.29	

Tabella 18 Parametri geometrici delle livellette, raddoppio via L.da Vinci: tratto B-C

Vertici										
	N.	Progressiva	Quota	Parziale	Parziale Res.	i (%)	Dislivello	Lunghezza	Lunghezza R.	Esito
▸	0	0.00	11.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	1	50.15	11.59	50.15	10.92	0.37	0.19	50.15	10.92	
	2	223.73	2.84	173.58	96.39	-5.04	-8.75	173.80	96.51	
	3	299.07	2.73	75.34	37.38	-0.14	-0.11	75.34	37.38	

Tabella 19 Parametri geometrici delle livellette, raddoppio via L.da Vinci: tratto C-B

4.3.3. Sezioni trasversali

Il nuovo tracciato stradale da realizzare in affiancamento a quello esistente, come già detto, è classificato come "strada urbana di quartiere" di Categoria "E".

Sulla base delle valutazioni eseguite in fase preliminare, è emerso che la strada di progetto deve essere conforme alla categoria E, "urbana di quartiere", prevista nel D.M. 05/11/2001. La piattaforma stradale di questa Categoria è formata da una carreggiata a due corsie con doppio senso di marcia. Le dimensioni di ciascuna corsia sono di 3,50 m e di 0,50 m di banchina pavimentata, per una larghezza trasversale complessiva della carreggiata pari 8,00. Immediatamente ai margini della strada (margini esterni) è presente un marciapiede di larghezza pari a 1,50m, al confine con la ferrovia a servizio dei terminal, ed una pista ciclabile a doppio senso di marcia di larghezza pari a 2,50 m sul lato opposto. L'intero tracciato, ad esclusione delle rampe che si innestano al nuovo svincolo, si sviluppa in rilevato di altezza variabile tra 0,50 m e 1,50 m, con scarpata di pendenza 2/3 e alla base, lato monte, è previsto un fosso di guardia di 0,70 m di larghezza per la raccolta delle acque.

Il progetto della sezione stradale, con l'organizzazione della piattaforma stradale e dei suoi margini, è stato effettuato tenendo conto dell'analisi della domanda di trasporto, in relazione all'ambito territoriale e all'utenza prevista, secondo le indicazioni del D.M. 5/11/2001. La composizione della carreggiata, i limiti dell'intervallo di velocità di progetto, le dimensioni da assegnare ai singoli elementi modulari e i flussi massimi smaltibili in relazione ai livelli di servizio indicati, sono riassunti nella tabella seguente:

Limite di velocità [Km/h]	**50**
Numero delle corsie per senso di marcia	1
Limite inferiore velocità di progetto [Km/h]	40
Limite superiore velocità di progetto [Km/h]	60
Larghezza della corsia di marcia [m]	3,50
Larghezza minima dello spartitraffico [m]	-
Larghezza minima della banchina in sinistra [m]	-
Larghezza minima della banchina in destra [m]	0,50
Larghezza della corsia di emergenza [m]	-
Larghezza minima del margine interno [m]	0,50
Larghezza minima del margine laterale [m]	-
LIVELLO DI SERVIZIO	C (1 corsia)
Portata di servizio per corsia (flussi bilanciati nei due sensi)	800 autoveic. equiv./ora
Larghezza minima dei marciapiedi [m]	1,50
Regolazione della sosta	Ammessa in appositi spazi (fascia di sosta)
Regolazione dei mezzi pubblici	Piazzole di fermata o eventuale corsia riservata
Regolazione del traffico pedonale	Su marciapiedi
Accessi	Ammessi

Tabella 20 Caratteristiche funzionali e prestazionali, raddoppio via Leonardo da Vinci

L'intervallo di velocità di progetto è compreso tra 40km/h e 60 km/h: pertanto, il valore minimo consentito dalla Normativa per il raggio della curva circolare è di 52 m. Per quanto riguarda, i tronchi che si innestano allo svincolo "Livorno centro", si rispettano le prescrizioni, in funzione della velocità di progetto di 60 Km/h, di un raggio planimetrico minimo di 120 m.

In rettifilo, la pendenza trasversale della semicarreggiata sarà mantenuta costante e pari al 2,50%. La pendenza trasversale per garantire la massima stabilità in curva è del 7%, come fissato dalle Norme italiane per le curve con raggio minimo: tuttavia, per le curve con raggio maggiore di Rmin(120 m), la pendenza viene definita congruentemente con quanto indicato nel D.M. 05/11/2001. Nei tratti in cui non sono previsti i marciapiedi, le banchine saranno raccordate con gli elementi marginali contigui dello spazio stradale (scarpate, cunette, marciapiedi) mediante elementi di raccordo che possono essere costituiti, a seconda delle situazioni, da arginelli o fasce

di raccordo (cigli), destinati ad accogliere gli eventuali dispositivi di ritenuta. L'arginello, dimensionato in funzione della larghezza di lavoro del dispositivo di ritenuta, ha larghezza pari a 1,10 m e altezza rispetto alla banchina di 0,10 m; tale elemento sarà raccordato alla scarpata mediante un arco le cui tangenti hanno lunghezza non inferiore a 0,50 m.

Nelle curve di transito la pendenza varia dal 2,5% al -2,5%; ciò comporta necessariamente la presenza di un tratto in cui la pendenza sarà minore del 2,5% (pendenza minima per garantire il deflusso delle acque) con un punto in cui avremo pendenza zero, detto punto di flesso. Poiché non è possibile eliminare questo inconveniente l'unico accorgimento è ridurre il più possibile tale spazio.

Le rampe in entrata ed in uscita, si sviluppano in viadotto, per un tratto della loro lunghezza. La presenza di tali rampe si rende necessaria al fine di raggiungere la quota utile per collegarsi al viadotto esistente. Il viadotto della rampa in entrata, cioè il tratto B-C, si sviluppa per una lunghezza complessiva di 200,00 m circa, per il tratto compreso tra la sezione 6 e la sezione 12. È formato da n.ro 6 campate prefabbricate in calcestruzzo armato precompresso di interasse pari a 30,00 m. Il viadotto della rampa in uscita, cioè il tratto C-B, si sviluppa per una lunghezza complessiva di 150,00 m circa, per il tratto compreso tra la sezione 1 e la sezione 9. E' formato da n.ro 4 campate prefabbricate in calcestruzzo armato precompresso di interasse pari a 30,00 m. Nella figura e nella tabella seguenti, si riassumono le caratteristiche geometriche adottate per gli elementi marginali:

ELEMENTO	DENOMINAZIONE	DIMENSIONE
s	Striscia di delimitazione	0,15 m
m	Bordo carreggiata	=0,30 m
i_c	Pendenza trasversale carreggiata	
	In rettifilo	2,5%
	In curva	2,5%<i_c<3,5%
i_b	Pendenza trasversale banchina	i_c
c_r	Ciglio o arginello in rilevato	1,00 m
d	Raccordo	1,00 m
c_s	Ciglio in scavo	c_r
i_a	Pendenza trasversale c_r e c_s	4%
l_c	Larghezza cunetta	0,80 m
p_c	Profondità cunetta	0,70 m
b	banchina	0,50 m

Tabella 21 Elementi caratteristici della sezione stradale, raddoppio via Leonardo da Vinci

Si riportano, di seguito, gli schemi grafici delle sezioni tipo adottate nei tratti descritti:

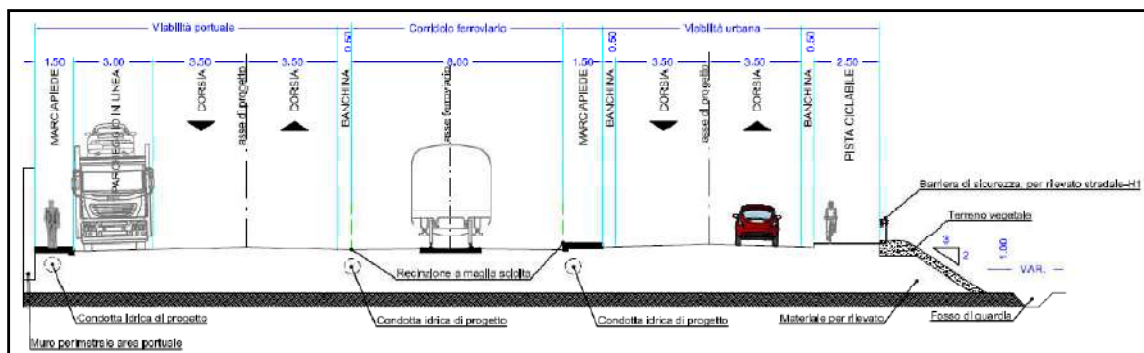



Figura 10 Sezione tipo, raddoppio via L. da Vinci prospiciente alla stazione di Calambrone

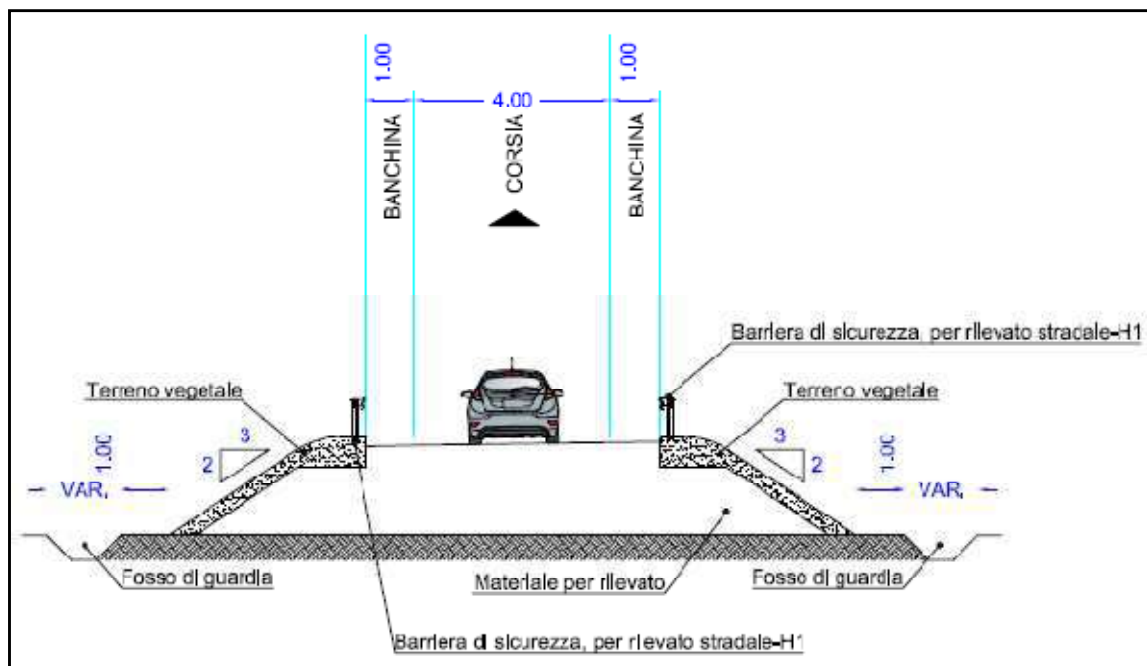



Figura 11 Sezione tipo, rampe a senso unico in rilevato

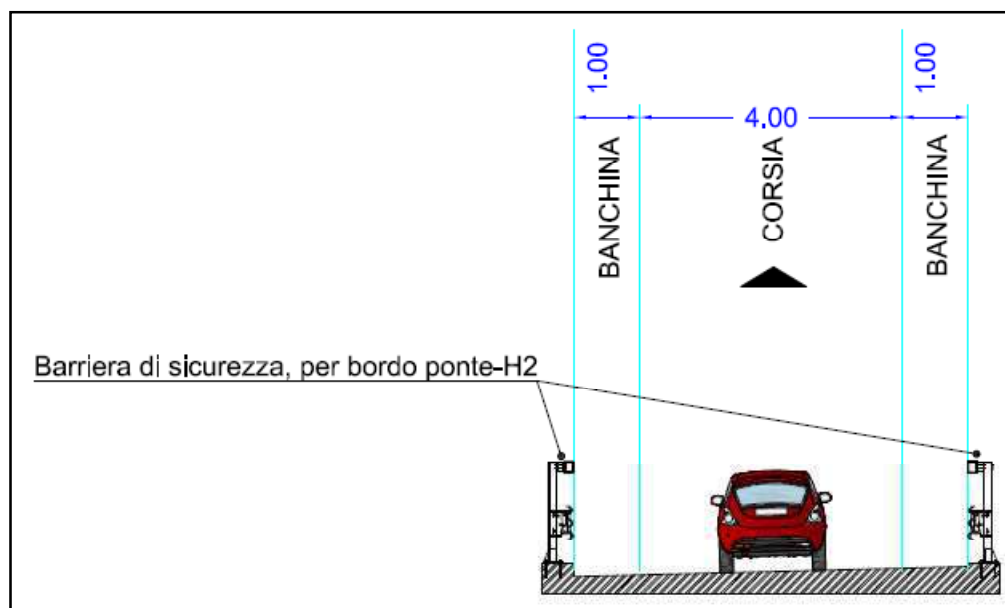



Figura 12 Sezione tipo, rampe a senso unico in viadotto

4.3.4. Esame del diagramma delle velocità

Il diagramma ha la funzione di verificare che la velocità sia contenuta entro i limiti previsti per la categoria di strada, ovvero 60 km/h. E' possibile osservare che, sulle curve presenti, la velocità si mantiene al di sotto del limite; la sua massima variazione tra due curve consecutive è inferiore ai 15km/h, come prescritto dalla normativa. Nelle curve di transito, le variazioni di velocità avvengono con moto uniformemente

vario con accelerazione di modulo pari a 0,8m/sec^2; anche in questi tratti la velocità massima che si raggiunge è inferiore al limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto.

Di seguito, si riportano le tabelle con le informazioni, per ogni sezione, planimetriche ed altimetriche:

Nome	Progressiva [m]	Parziale [m]	Distanza sinistra [m]	Distanza destra [m]	Rotazione [gon]	Coord. X [m]	Coord. Y [m]	Elemento Base	Informazioni
AB1	0.000	0.000	20.000	20.000	0.000	1606661.211	4825554.906	RETTIFILO	
AB2	50.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606678.585	4825601.880	RETTIFILO	
AB3	100.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606695.958	4825648.765	RETTIFILO	
AB4	150.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606713.332	4825695.649	RETTIFILO	
AB5	200.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606730.705	4825742.534	RETTIFILO	
AB6	250.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606748.078	4825789.419	RETTIFILO	
AB7	300.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606765.452	4825836.303	RETTIFILO	
AB8	350.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606782.825	4825883.188	RETTIFILO	
AB9	400.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606800.199	4825930.072	RETTIFILO	
AB10	450.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606817.572	4825976.957	RETTIFILO	
AB11	500.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606834.946	4826023.841	RETTIFILO	
AB12	550.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606852.319	4826070.726	RETTIFILO	
AB13	600.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606869.693	4826117.611	RETTIFILO	
AB14	650.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606887.066	4826164.495	RETTIFILO	
AB15	700.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606904.440	4826211.380	RETTIFILO	
AB16	750.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606921.813	4826258.264	RETTIFILO	
AB17	800.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606939.187	4826305.149	RETTIFILO	
AB18	850.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606956.560	4826352.033	RETTIFILO	
AB19	900.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606973.933	4826398.918	RETTIFILO	
AB20	950.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606991.307	4826445.802	RETTIFILO	
AB21	992.310	42.310	20.000	20.000	0.000	1607006.008	4826485.476	RETTIFILO	

Tabella 22 Dati planimetrici, raddoppio via L. da Vinci tratto A-B

Nome	Progressiva [m]	Parziale [m]	Distanza sinistra [m]	Distanza destra [m]	Rotazione [gon]	Coord. X [m]	Coord. Y [m]	Elemento Base	Informazioni
BC1	0.001	0.000	20.000	20.000	0.000	1607003.861	4826486.372	ARCO	
BC2	36.364	36.364	20.000	20.000	0.000	1607011.930	4826521.687	ARCO	
BC3	50.000	13.636	20.000	20.000	0.000	1607012.152	4826535.313	ARCO	
BC4	72.728	22.728	20.000	20.000	0.000	1607009.093	4826557.801	ARCO	
BC5	100.000	27.272	20.000	20.000	0.000	1607000.698	4826583.726	CLOTOIDE	
BC6	106.682	6.682	20.000	20.000	0.000	1606998.285	4826589.956	CLOTOIDE	
BC7	150.000	43.318	20.000	20.000	0.000	1606982.564	4826630.321	RETTIFILO	
BC8	200.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606964.418	4826676.912	RETTIFILO	
BC9	250.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606946.272	4826723.503	RETTIFILO	
BC10	300.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606928.126	4826770.094	RETTIFILO	
BC11	350.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606909.980	4826816.685	RETTIFILO	
BC12	361.920	11.920	20.000	20.000	0.000	1606905.654	4826827.793	RETTIFILO	

Tabella 23 Dati planimetrici, tratto B-C

Nome	Progressiva [m]	Parziale [m]	Distanza sinistra [m]	Distanza destra [m]	Rotazione [gon]	Coord. X [m]	Coord. Y [m]	Elemento Base	Informazioni
CB1	0.001	0.000	20.000	20.000	0.000	1606917.592	4826771.225	RETTIFILO	
CB2	50.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606934.675	4826724.235	RETTIFILO	
CB3	100.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606951.759	4826677.244	RETTIFILO	
CB4	150.000	50.000	20.000	20.000	0.000	1606968.843	4826630.253	RETTIFILO	
CB5	197.791	47.791	20.000	20.000	0.000	1606985.172	4826585.338	CLOTOIDE	
CB6	239.370	41.579	20.000	20.000	0.000	1606997.857	4826545.767	ARCO	
CB7	250.000	10.630	20.000	20.000	0.000	1607000.007	4826535.358	ARCO	
CB8	269.225	19.225	20.000	20.000	0.000	1607002.321	4826516.283	ARCO	
CB9	299.070	29.845	20.000	20.000	0.000	1607001.857	4826486.475	ARCO	

Tabella 24 Dati planimetrici, tratto C-B

Nome	Progressiva [m]	Parziale [m]	TERRENO	PROGETTO	Informazioni
AB1	0.000	0.000	2.192	2.580	
AB2	50.000	50.000	2.238	2.496	
AB3	100.000	50.000	2.226	2.411	
AB4	150.000	50.000	2.390	2.327	
AB5	200.000	50.000	2.254	2.242	
AB6	250.000	50.000	2.257	2.158	
AB7	300.000	50.000	2.244	2.074	
AB8	350.000	50.000	2.162	1.989	
AB9	400.000	50.000	2.142	1.905	
AB10	450.000	50.000	2.165	1.821	
AB11	500.000	50.000	2.316	1.866	
AB12	550.000	50.000	2.292	1.954	
AB13	600.000	50.000	2.437	2.042	
AB14	650.000	50.000	2.391	2.130	
AB15	700.000	50.000	2.400	2.217	
AB16	750.000	50.000	2.410	2.305	
AB17	800.000	50.000	2.504	2.393	
AB18	850.000	50.000	2.300	2.480	
AB19	900.000	50.000	2.300	2.568	
AB20	950.000	50.000	2.313	2.656	
AB21	992.310	42.310	2.298	2.730	

Tabella 25 Dati altimetrici, raddoppio via L. da Vinci tratto A-B

Nome	Progressiva [m]	Parziale [m]	TERRENO	PROGETTO	Informazioni
BC1	0.001	0.000	2.293	2.730	
BC2	36.364	36.364	2.204	3.134	
BC3	50.000	13.636	2.284	3.512	
BC4	72.728	22.728	2.457	4.411	
BC5	100.000	27.272	2.622	5.634	
BC6	106.682	6.682	2.663	5.933	
BC7	150.000	43.318	2.886	7.875	
BC8	200.000	50.000	2.886	10.116	
BC9	250.000	50.000	2.886	11.470	
BC10	300.000	50.000	2.886	11.417	
BC11	350.000	50.000	2.886	11.232	
BC12	361.920	11.920	2.886	11.188	

Tabella 26 Dati altimetrici, tratto B-C

Nome	Progressiva [m]	Parziale [m]	TERRENO	PROGETTO	Informazioni
CB1	0.001	0.000	11.400	11.400	
CB2	50.000	50.000	7.698	11.059	
CB3	100.000	50.000	4.813	9.073	
CB4	150.000	50.000	2.883	6.553	
CB5	197.791	47.791	2.733	4.191	
CB6	239.370	41.579	2.407	2.976	
CB7	250.000	10.630	2.307	2.844	
CB8	269.225	19.225	2.214	2.772	
CB9	299.070	29.845	2.292	2.730	

Tabella 27 Dati altimetrici, tratto C-B

4.4. Adeguamento della Via Leonardo da Vinci a servizio funzionale del porto

4.4.1. Andamento plano-altimetrico

Per quanto riguarda l'attuale tracciato di via Leonardo Da Vinci, si opererà un adeguamento della sezione trasversale al fine di ottenere una "categoria speciale".

Per quanto concerne il tracciato esistente, non si prevedono modifiche agli elementi plano-altimetrici. Come già detto nella parte introduttiva, potrà essere destinato ad uso esclusivo dei flussi veicolari portuali. In corrispondenza dello svincolo della S.G.C. FI-PI-LI è prevista la realizzazione di una nuova rampa di ingresso allo stesso, che consente l'uscita dalla zona portuale dei veicoli provenienti dai terminal ubicati in

zona Sud, lungo l'attuale via Leonardo da Vinci. Dopo una prima curva con raggio di 40,00 m, la rampa segue il tracciato esistente, con curvature, però, nettamente minori avendo adottato dei raggi maggiori degli attuali, migliorando quindi la traiettoria. Come già detto in precedenza, questo risulta un tratto molto critico con frequenti fuoriuscite e ribaltamenti di mezzi pesanti. I raggi planimetrici minimi adottati in questo tratto sono maggiori di 25 m, prescrizione da adottare per le rampe di tipo indiretto che in entrata hanno una velocità di progetto pari a 30 km/h. Sempre in questo tratto e sempre per le medesime prescrizioni, sono state rispettate le pendenze longitudinali del 10%.

Subito dopo tale nuova rampa, sarà creata una separazione fisica tra la continuazione di via Leonardo da Vinci e la rampa dello svincolo S.G.C. FI-PI-LI che consente l'ingresso al porto in direzione Ovest (Darsena Toscana). L'area sterrata compresa tra quest'ultima rampa e la linea ferroviaria, sarà, invece, adeguata in modo da essere adibita a zona di sosta per i veicoli in attesa all'ingresso in porto. In particolare sono previsti n°53 stalli per i mezzi pesanti con una viabilità in adiacenza alla ferrovia utile all'uscita della larghezza di 6,00 m. Ogni stallo ha una dimensione di 18,00 m in lunghezza e di 3,50 m in larghezza, in modo tale da poter ospitare i mezzi pesanti.

La corsia di ingresso termina in corrispondenza del vecchio passaggio a livello e qui è possibile creare una barriera per monitorare i veicoli in ingresso al porto la cui realizzazione è attualmente prevista anche nel Piano Regolatore Portuale. Proseguendo lungo l'attuale tracciato, si giunge, quindi, in corrispondenza dell'intersezione con la via Galvani dove è prevista la realizzazione di una intersezione a rotatoria il cui scopo principale è quello di consentire l'inversione di marcia su via Leonardo da Vinci, la distribuzione dei flussi nelle varie aree interne al porto e la connessione con l'ingresso al porto alternativo dal Terminal Paduletta.

La viabilità per l'accesso al porto sarà migliorata ulteriormente grazie alla previsione di un altro accesso nella estrema zona occidentale del porto, sfruttando l'uscita della S.G.C. FI-PI-LI direzione "Darsena Toscana Est-via Mogadiscio", quindi sfruttando l'ingresso del terminal Livorno Est. Difatti, costeggiando per un breve tratto la Darsena Toscana ed utilizzando la strada portuale interna si arriva all'intersezione tra

via Galvani e la via Leonardo da Vinci. Questo ingresso ha una duplice funzionalità, ovvero quella di mettere in comunicazione la zona Nord-occidentale del porto con la S.G.C. FI-PI-LI, tramite la "circonvallazione portuale", allegerendo, così, i flussi di traffico sulla zona orientale.

In prossimità di quest'ultimo ingresso, è previsto un piazzale da destinare alla sosta con 24 stalli disponibili. Gli stalli hanno dimensioni geometriche di 18,00 m in lunghezza e 3,50 m in larghezza. Quindi i posti destinati alla sosta dei veicoli portuali sono 77. Considerando che il traffico portuale prevede un traffico di circa 200 veicoli/ora, ogni veicolo pesante ha a disposizione uno spazio per la sosta fino ad una attesa di 23 minuti. Tale risultato è molto soddisfacente: in aggiunta, si deve sottolineare la presenza di una lunga corsia da destinare alla sosta durante l'attesa sulla via Leonardo da Vinci.

4.4.2. Sezioni trasversali

Per quanto riguarda le porzioni del tracciato gravitanti nella zona est, sul rettilineo a nord del torrente Ugione le dimensioni di ciascuna corsia sono di 3,50 m. Sul lato Ovest, su alcuni tratti del tracciato, sarà presente una corsia della larghezza di 3,00 m destinata alla sosta e all'attesa dei veicoli pesanti; quindi, un marciapiede della larghezza di 1,50 m. Sul lato Est, in adiacenza alla corsia, sarà presente una banchina pavimentata della larghezza di 0,50 m, fino a raggiungere la recinzione che individua il confine tra la sede stradale e il sedime ferroviario. Pertanto, la carreggiata avrà una larghezza complessiva di 12,00 m. Nelle altre zone, invece, dove non è prevista la corsia di 3,00 m per la sosta, la carreggiata avrà le dimensioni di 9,50 m.

La sezione stradale sulla nuova viabilità che conduce all'intersezione tra via Galvani e via Leonardo da Vinci ha le stesse caratteristiche di quella già descritta, presentando, quindi, due corsie di 3,50 m, una per ogni senso di marcia, banchina in sinistra e in destra di 0,50 m e marciapiede pedonale di dimensione 1,50 m.

In fase di realizzazione della pavimentazione stradale, visto che si provvederà ad un adeguamento, là dove risulterà necessario, si opererà una correzione delle pendenze trasversali della piattaforma, al fine di adeguarle ai valori di Normativa.

Di seguito si inseriscono gli schemi grafici delle sezioni trasversali tipo adottate nel tracciato esaminato:

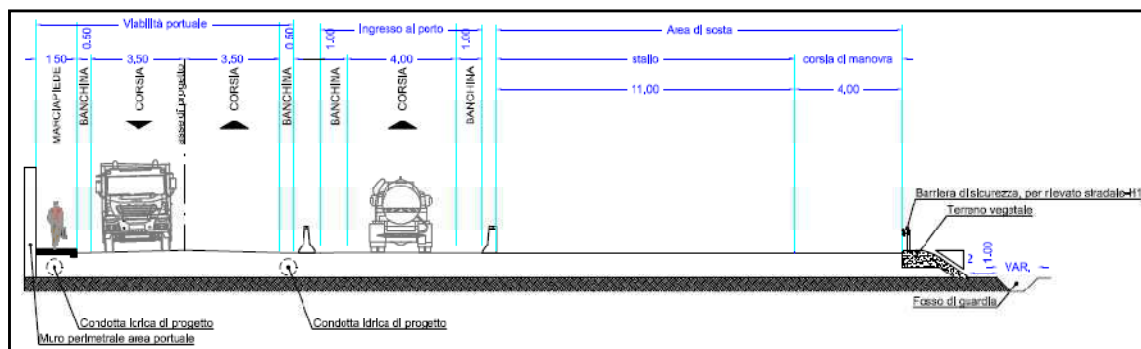



Figura 13 Sezione tipo, ingresso al porto e viabilità portuale

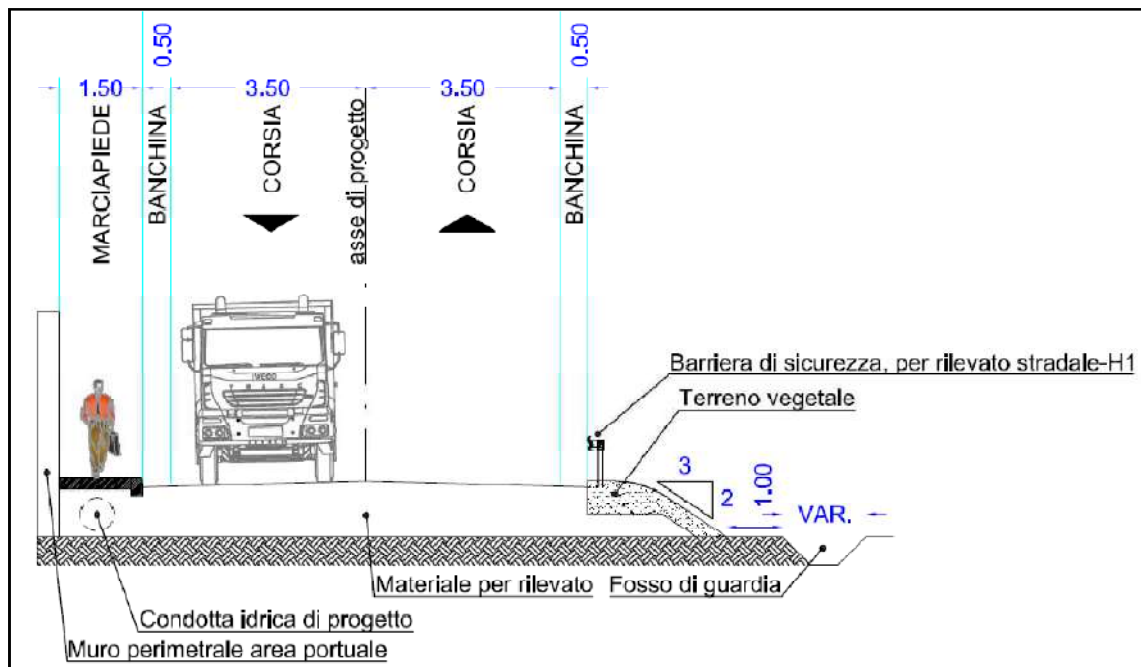



Figura 14 Sezione tipo, ingresso al porto dal terminal Paduletta

Di seguito si riportano le tabelle con le informazioni relative alle sezioni della rampa:

Nome	Progressiva [m]	Parziale [m]	Distanza sinistra [m]	Distanza destra [m]	Rotazione [gon]	Coord. X [m]	Coord. Y [m]	Elemento Base	Informazioni
1	0.001	0.000	20.000	20.000	0.000	1606932.845	4826767.743	RETTIFILO	
2	25.000	25.000	20.000	20.000	0.000	1606957.765	4826765.761	CLOTOIDE	
3	50.000	25.000	20.000	20.000	0.000	1606981.686	4826758.951	ARCO	
4	75.000	25.000	20.000	20.000	0.000	1607001.726	4826744.229	ARCO	
5	100.000	25.000	20.000	20.000	0.000	1607015.355	4826723.429	ARCO	
6	125.000	25.000	20.000	20.000	0.000	1607021.019	4826699.192	CLOTOIDE	
7	150.000	25.000	20.000	20.000	0.000	1607022.404	4826674.262	CLOTOIDE	
8	175.000	25.000	20.000	20.000	0.000	1607010.871	4826653.014	ARCO	
9	200.000	25.000	20.000	20.000	0.000	1606987.040	4826649.315	ARCO	
10	225.000	25.000	20.000	20.000	0.000	1606969.190	4826665.820	CLOTOIDE	
11	237.130	12.130	20.000	20.000	0.000	1606961.100	4826676.958	CLOTOIDE	

Tabella 28 Dati planimetrici

Nome	Progressiva [m]	Parziale [m]	TERRENO	PROGETTO	Informazioni
1	0.001	0.000	2.700	3.312	
2	25.000	24.999	2.800	4.449	
3	50.000	25.000	2.904	5.585	
4	75.000	25.000	3.135	6.722	
5	100.000	25.000	3.217	7.859	
6	125.000	25.000	3.566	8.965	
7	150.000	25.000	3.482	9.246	
8	175.000	25.000	3.158	9.495	
9	200.000	25.000	3.947	9.745	
10	225.000	25.000	4.793	9.995	
11	237.130	12.130	5.390	10.116	

Tabella 29 Dati altimetrici

4.5. Verifiche dei tracciati

In questo paragrafo, vengono riassunte brevemente, le verifiche degli elementi geometrici (planimetrici e altimetrici) della proposta progettuale. Come già detto, la proposta progettuale prevede più interventi e per ciascuno di essi è vincolante verificare le prescrizioni alle normative vigenti. Per analizzare in dettaglio l'intervento proposto è stato utilizzato il software "Civil Design" della Digicorp Ingegneria S.r.l..

Civil Design è l'applicativo di AutoCAD più diffuso in Italia per la progettazione e contabilizzazione di opere civili sul territorio. Riesce ad integrare l'ambiente di lavoro CAD più diffuso al mondo con funzioni indispensabili per i tecnici che operano in questo settore.

Il programma crea modelli digitali a triangoli, a griglia o a curve di livello, permettendo di ricavare sezioni e profili che sono la base per lo studio dell'esistente e

per la progettazione. I tempi e le operazioni legate alle modifiche apportate al progetto sono minimizzati perché i tracciati, profili e sezioni sono dinamici e vengono aggiornati ogni qualvolta ci si apporti una modifica. La modifica di un tracciato o profilo di progetto è intuitiva potendo agire sia direttamente sui grip degli elementi sia imputando i valori in tabelle che modificano in tempo reale la geometria del progetto. L'interfaccia rimane quella familiare di AutoCAD cui si aggiungono strumenti ad hoc che ne rispecchiano lo stile, rendendo così molto intuitivo l'approccio al software. I tracciati vengono costruiti e verificati contestualmente secondo quanto previsto dalle normative vigenti: si compongono con rettifili, cerchi, clotoidi semplici e multi-parametro, clotoidi di flesso e di continuità, parabole cubiche, policentriche, spirali. Con pochi click e attraverso dialoghi di facile comprensione si ottengono i diagrammi di velocità ed il responso di tutte le verifiche normative. Sono previste procedure per produrre tutto quanto richiesto dal DM 5.11.2001 "*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*" e dal DM 19.04.2006 per la "*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali*". Le rotazioni della piattaforma stradale o le sopraelevazioni ferroviarie sono calcolate dal software che mette a disposizione ampie possibilità di personalizzazione: i valori previsti da norma possono essere adattati alle esigenze con diverse modalità di input garantendo la massima flessibilità di impiego. Ad esempio, nel caso di interventi su strade esistenti o allargamento di carreggiate autostradali il software permette di assegnare le rotazioni che si desumono dal rilievo dello stato di fatto. E' forse la verifica più difficile da rispettare e quella senz'altro più vincolante per la progettazione. Con CIVIL Design può essere eseguita in 2D o 3D: nell'approccio 2D è sufficiente avere la planimetria di progetto, disegnare i potenziali ostacoli alla visuale libera e si ottiene subito un rapporto completo sulla verifica della normativa. Vengono indicate, sia in tabella che in planimetria, le distanze di visuale libera, di visibilità e l'indicazione delle fasce da tenere libere per il rispetto. Per una verifica 3D è necessario creare il modello dell'opera con specifiche funzionalità. E' dunque possibile ricreare realisticamente gli ostacoli alla visibilità per ottenere verifiche molto accurate. Sfruttando gli automatismi di CIVIL Design si creano sezioni di progetto qualsiasi: l'elasticità garantita dall'approccio del programma consente di definire e computare sezioni di qualsiasi complessità.

I dettagli di tale analisi sono riportate di seguito, suddivisi per tipologie e per tracciato.

4.5.1. Curve circolari

Le Norme prevedono che lo sviluppo circolare di una curva sia tale da garantire la permanenza nel tratto di almeno 2,5 *secondi*, alla velocità massima per quella determinata curva.

La velocità in curva si ricava dalla seguente equazione (per velocità di progetto massima di 60 Km/h):

$$V^2(1 + 0{,}0025 \times R) - 0{,}14 \times R \times V - 30{,}26 \times R = 0$$

Quindi si ottiene:

- *Prolungamento via F. Enriques*

Curva	Lunghezza (m)	Velocità (m/s)	Tempo di percorrenza(s)
1°	42,62	16,67	2,55
2°	**42,32**	**16,67**	**2,53**

- *Rampa in entrata, tratto B-C del raddoppio della L. da Vinci*

Curva	Lunghezza (m)	Velocità (m/s)	Tempo di percorrenza(s)
1°	**72,73**	**16,67**	**4,36**

- *Rampa in entrata, tratto B-C del raddoppio della L. da Vinci*

Curva	Lunghezza (m)	Velocità (m/s)	Tempo di percorrenza(s)
1°	**72,73**	**16,67**	**4,36**

- *Rampa in uscita, tratto C-B del raddoppio della L. da Vinci*

Curva	Lunghezza (m)	Velocità (m/s)	Tempo di percorrenza(s)
1°	**59,71**	**16,67**	**3,58**

➢ *Rampa in uscita dal porto ed in entrata alla S.G.C.*

Curva	**Lunghezza (m)**	**Velocità (m/s)**	**Tempo di percorrenza(s)**
1°	85,38	8,33	**10,25**
2°	**52,37**	**8,33**	**6,29**

Per due curve consecutive è consigliabile avere una differenza di velocità inferiore a 15km/h; tale limitazione è rispettata.

4.5.2. Curve di transizione

Le curve di transizione vengono inserite prima e dopo una curva, tra elementi a differente curvatura, per attenuare il fenomeno del contraccolpo cioè il passaggio che si ha da una accelerazione trasversale nulla ad una pari a V^2/r, dovuta all'entrata in curva. Per ottenere ciò, le curve di transizione hanno curvatura progressivamente variabile. Una curva di transito deve essere tangente nei punti estremi ed avere lo stesso raggio degli elementi che essa raccorda. Le curve di transizione adottate sono clotoidi.

Le verifiche sul parametro A hanno le seguenti motivazioni:

1) limitare il contraccolpo;

2) realizzare gradualmente, lungo i tratti a curvatura variabile, la variazione di pendenza trasversale e di larghezza delle corsie;

3) migliorare la percezione dell'andamento del tracciato.

- Per il primo criterio del contraccolpo *c*, fissato in funzione della velocità secondo le Norme italiane, $c_{max}=50,4/V$ (V in km/h), si ricava che: $A \geq A_{min}=0,021V^2$. Dove V è la velocità massima che abbiamo in clotoide.
- Nel secondo criterio si tiene conto del fatto che lungo la clotoide viene variata la pendenza trasversale della carreggiata quando si passa da un elemento con una certa curvatura ad un altro a curvatura diversa: ciò comporta una

variazione di quota del bordo esterno della carreggiata, si deve rispettare: $A \geq A_{min} = \sqrt[2]{\left(\frac{B_i \times (q_f - q_i) \times 100}{\left(\frac{1}{R_f} - \frac{1}{R_i}\right) \times \Delta_{imax}}\right)}$

Dove:

B_i distanza fra l'asse intorno a cui ruota la carreggiata ed il ciglio esterno della stessa;

$q_f = tan\alpha_i q_i = tan\alpha_f$ le pendenze trasversali, rispettivamente, all'inizio ed al termine dell'arco di clotoide che fa parte del tracciato;

R_i e R_f i raggi di curvatura iniziale e finale;

$L = s_f - s_i$ la differenza tra le ascisse curvilinee dei punti finale ed iniziale, ossia la lunghezza dell'arco di clotoide che interessa.

- Nel terzo criterio si vuole garantire una buona percezione dell'andamento del tracciato da parte dell'utente, le Norme prevedono: per la percezione della clotoide $A \geq A_{min} = R/3$; per percepire l'arco di cerchio alla fine della clotoide si richiede $A \leq A_{max} = R$.

Le verifiche condotte sulle clotoidi che compongono il tracciato, sono riportate di seguito, nelle tabelle riassuntive per ogni tracciato.

4.5.3. Rettifili

È desiderabile che i rettifili non abbiano una lunghezza eccessiva ed infatti le Norme prescrivono come limite: $L_r = 22V_{max}$

Con V_{max} in Km/h e L_r in metri.

Inoltre le stesse norme stabiliscono che: "*affinché un rettifilo sia percepito come tale deve avere una lunghezza non inferiore ai valori riportati nella seguente tabella*":

Velocità [km/h]	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**
$L_{r,minimo}$ [m]	30	40	50	65	90	115	150	190	250	300	360

Tabella 30 Lunghezze minime dei rettifili, CNR

Le velocità indicate sono quelle che si deducono dal diagramma di velocità per il rettifilo considerato.

Adesso, di seguito inseriamo i dettagli delle verifiche, suddivisi per tracciato:

- *Prolungamento via F. Enriques*

Progressiva [m]	And. Plan.	Ciglio sx	Ciglio dx	Rettifili: L <= Lmax	Rettifili: L >= Lmin	Curve: R >= Rmin	Curve: Sv >= Smin	Clotoidi: A>=Amin complessiva	Clotoidi: A<=Amax complessiva
0.00	0.000	-0.088	-0.088	●	●	●	●	●	●
992.32	0.000	-0.088	-0.088	●	●	●	●	●	●

- *Rettifilo, tratto A-B del raddoppio della L. da Vinci*

Progressiva [m]	And. Plan.	Ciglio sx	Ciglio dx	Rettifili: L <= Lmax	Rettifili: L >= Lmin	Curve: R >= Rmin	Curve: Sv >= Smin	Clotoidi: A>=Amin complessiva	Clotoidi: A<=A complessiva
0.00	0.000	-0.088	-0.088	●	●	●	●	●	●
992.32	0.000	-0.088	-0.088	●	●	●	●	●	●

- *Rampa in entrata, tratto B-C del raddoppio della L. da Vinci*

Progressiva [m]	And. Plan.	Ciglio sx	Ciglio dx	Rettifili: L <= Lmax	Rettifili: L >= Lmin	Curve: R >= Rmin	Curve: Sv >= Smin	Clotoidi: A>=Amin complessiva
0.00	-0.008	0.000	0.302	●	●	●	●	●
65.23		0.000	0.302	●	●	●	●	●
72.73	-0.008	0.000	0.301	●	●	●	●	●
106.68	0.000	0.000	-0.101	●	●	●	●	●
114.18		0.000	-0.100	●	●	●	●	●
361.93	0.000	0.000	-0.100	●	●	●	●	●

- *Rampa in uscita, tratto C-B del raddoppio della L. da Vinci*

Progressiva [m]	And. Plan.	Ciglio sx	Ciglio dx	Rettifili: L <= Lmax	Rettifili: L >= Lmin	Curve: R >= Rmin	Curve: Sv >= Smin	Clotoidi: A>=Amin complessiva	Clotoidi: A<=Amax complessiva
0.00	0.000	0.000	-0.100	●	●	●	●	●	●
190.29		0.000	-0.100	●	●	●	●	●	●
197.79	0.000	0.000	-0.100	●	●	●	●	●	●
239.37	0.006	0.000	-0.227	●	●	●	●	●	●
246.87		0.000	-0.227	●	●	●	●	●	●
299.08	0.006	0.000	-0.227	●	●	●	●	●	●

➢ *Rampa in uscita dal porto ed in entrata alla S.G.C.*

Progressiva [m]	And. Plan.	Ciglio sx	Ciglio dx	Rettifili: L <= Lmax	Curve: R >= Rmin	Curve: Sv >= Smin	Clotoidi: A>=Amin complessiva	Clotoidi: A<=Amax complessiva
0.00	0.000	0.000	-0.100	●	●	●	●	●
9.46		0.000	-0.100	●	●	●	●	●
16.96	0.000	0.000	-0.102	●	●	●	●	●
29.92	0.014	0.000	-0.166	●	●	●	●	●
37.42		0.000	-0.170	●	●	●	●	●
107.80		0.000	-0.170	●	●	●	●	●
115.30	0.014	0.000	-0.166	●	●	●	●	●
127.54		0.000	-0.105	●	●	●	●	●
128.26	0.000	0.000	-0.102	●	●	●	●	●
135.04	0.000	0.000	-0.103	●	●	●	●	●
135.76		0.000	-0.109	●	●	●	●	●
158.57	0.037	0.000	-0.372	●	●	●	●	●
166.07		0.000	-0.381	●	●	●	●	●
203.44		0.000	-0.381	●	●	●	●	●
210.94	0.037	0.000	-0.373	●	●	●	●	●
237.14	0.000	0.000	-0.103	●	●	●	●	●
244.64		0.000	-0.100	○	○	○	○	○

4.5.4. Curve verticali

Il tracciato presenta delle livellette collegate tra loro da raccordi verticali parabolici, convessi*(dossi)* e/o concavi *(sacche)*. La pendenza delle livellette è contenuta nei limiti delle Norme, come già descritto e mostrate in precedenza.

La determinazione del valore minimo di Ra è dovuta a due criteri:

- Assicurare il comfort di marcia dell'utente: si pone un limite all'accelerazione verticale. Le Norme stabiliscono che a_{vmax}=0,6 m/s^2, da cui: Ra ≥ 0,129V^2 (Ra = raggio del cerchio osculatore nel vertice, V[km/h]).
- Il secondo criterio richiede che il conducente possa vedere, ad una certa distanza D, un oggetto che si trovi sulla sua traiettoria. La distanza che viene presa in considerazione è la distanza di arresto (Da). Bisogna distinguere tra i raccordi concavi e quelli convessi per determinare Ra minimo.

  Per raccordo convesso:

  con D_a<L, $R_a = \frac{D_a^2}{2\times(h_1+h_2+2\sqrt{h_1\times h_2})}$

  con D_a>L, $R_a = \frac{2}{\Delta_i}\left(D - \frac{(h_1+h_2+2\sqrt{h_1\times h_2})}{\Delta_i}\right)$

Le norme assumono:

h_1 = 1,10 m (altezza dell'occhio del conducente)

h_2 = 0,10 m (altezza dell'oggetto che deve essere visto).

Per raccordo concavo

con D_a<L, $R_a = \frac{D^2{}_a}{2\times(h+D_a\times\theta)}$

con D_a>L, $R_a = \frac{2}{\Delta i}(D_a - \frac{(h_1+D_a\times\theta)}{\Delta i})$

Le Norme assumono:

h = 0,5 m (altezza del centro dei fari del veicolo)

θ = 1°= 0,01745 rad (massima divergenza verso l'alto del fascio luminoso rispetto all'asse del veicolo)

I calcoli effettuati per il tracciamento dei raccordi verticali, nonché le relative verifiche sono riportati di seguito, dettagliate in tabelle, con indicato il raggio minimo necessario, il raggio effettivamente adottato e l'esito delle verifiche:

- *Prolungamento via F. Enriques*

Raccordi Verticali

N.	Tipo	Raggio Vert.	Delta i (%)	Sviluppo	Prog. Iniziale	Prog. Finale	Parziale Ra	Sorp/D	Vp (km/h)	Diag. V	Raggio Min	Esito
1	Parabolico	1600.00	4.70	75.24	91.47	166.68	75.21	☐	60.00	☑	1503.92	●
2	Parabolico	1500.00	-5.37	80.60	303.66	384.23	80.57	☐	60.00	☑	1423.34	●

- *Rettifilo, tratto A-B del raddoppio della L. da Vinci*

Raccordi Verticali

N.	Tipo	Raggio Vert.	Delta i (%	Sviluppo	Prog. Iniziale	Prog. Finale	Parziale Rac.	Sorp/D	Vp (km/h)	Diag. V	Raggio Min	Esito
1	Parabolico	600.00	0.34	2.07	461.13	463.19	2.07	☐	60.00	☑	462.96	●

- *Rampa in entrata, tratto B-C del raddoppio della L. da Vinci*

Raccordi Verticali

N.	Tipo	Raggio Vert.	Delta i (%)	Sviluppo	Prog. Iniziale	Prog. Finale	Parziale Rac.	Sorp/D	Vp (km/h)	Diag. V	Raggio Min.	Esito
1	Parabolico	1500.00	4.37	65.59	3.32	68.90	65.57	☐	60.00	☑	1477.84	●
2	Parabolico	1450.00	-4.85	70.38	199.27	269.63	70.36	☐	60.00	☑	1409.27	●

- ➢ *Rampa in uscita, tratto C-B del raddoppio della L. da Vinci*

Raccordi Verticali

N.	Tipo	Raggio Vert.	Delta i (%)	Sviluppo	Prog. Iniziale	Prog. Finale	Parziale Rac.	Sorp/D	Vp (km/h)	Diag. V	Raggio Min.	Esito
1	Parabolico	1450.00	-5.41	78.50	10.92	89.38	78.46	☐	60.00	☑	1424.07	●
2	Parabolico	1550.00	4.90	75.96	185.77	261.69	75.92	☐	60.00	☑	1504.15	●

- ➢ *Rampa in uscita dal porto ed in entrata alla S.G.C.*

Raccordi Verticali

N.	Tipo	Raggio Vert.	Delta i (%	Sviluppo	Prog. Iniziale	Prog. Finale	Parziale Rac.	Sorp/D	Vp (km/h)	Diag. V	Raggio Min.	Esito
1	Parabolico	200.00	-3.55	7.10	121.45	128.55	7.10	☐	30.00	☑	115.74	●

4.5.5. Zona di scambio

Una tipica zona di scambio è rappresentata nella successiva figura (Figura 15). Essa è costituita da un tratto di carreggiata a senso unico, ad una estremità della quale convergono due carreggiate anch'esse a senso unico, le quali poi si separano all'altra estremità. Nella proposta presentata, sul viadotto di ingresso alla Strada di Grande Comunicazione dopo la sezione 18 della via Federigo Enriques (situata tra le nuove rampe e la rampa in ingresso in direzione "Firenze") si trova, appunto una zona di scambio, che dovrà smistare le portate tra il nuovo prolungamento e le due entrate in S.G.C. FI-PI-LI.

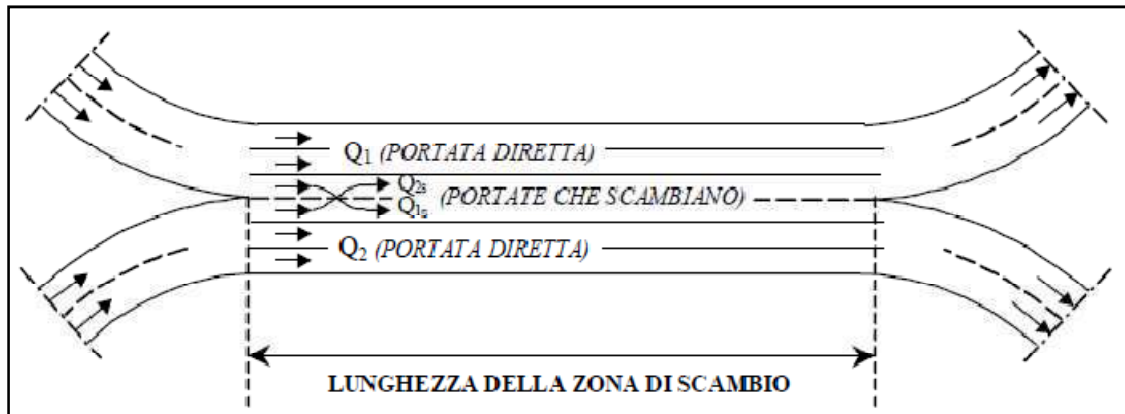



Figura 15 Schema di una zona di scambio

Le zone di scambio si formano quando due strade, aventi caratteristiche simili, si intersecano sotto un angolo molto acuto.

Il fenomeno dello scambio di due correnti di traffico è abbastanza simile a quello della immissione da una corsia di attesa ad una corsia di marcia normale. Anche nello

scambio, come nella immissione, il veicolo che si deve spostare nella corsia parallela percorre la sua corsia in attesa che si presenti l'intervallo favorevole allo scopo. Ci si deve attendere, quindi, che la zona di intreccio debba essere tanto più lunga quanto maggiori sono le portate che devono scambiare.

Il singolo veicolo che deve cambiare corsia tende a rallentare mentre attende di poter eseguire la manovra, facendosi sorpassare dai veicoli della corrente parallela proprio per osservare l'ampiezza degli intervalli fra di essi.

Questo rallentamento sarà tanto maggiore quanto più corta è la zona di scambio, e, conseguentemente, si incrementa la probabilità che essa venga percorsa tutta senza aver avuto la possibilità di scambiare. Il rallentamento, inoltre, determina una generale caduta di velocità nella zona di scambio, e quindi un accumulo dei veicoli, a cui, per evitare che si crei congestione, occorre far fronte con un aumento della sezione stradale.

Appare quindi chiaro che, nella progettazione di una zona di intreccio, è possibile assegnare ad essa una lunghezza tale che non si determini alcun sensibile rallentamento delle correnti che la percorrono.

Uno studio teorico del fenomeno dello scambio, che tenga conto dell'effettivo comportamento degli automobilisti, non è molto semplice data la difficoltà di ridurre ad uno schema sufficientemente semplice, il comportamento degli stessi.

Per la progettazione riesce molto più efficace utilizzare i risultati di esperienze compiute negli Stati Uniti, i quali hanno condotto al criterio di progettazione riassunto nell'abaco riportato nella figura successiva (Figura 16). In esso, sull'asse delle ascisse è indicata la lunghezza della zona di scambio, mentre sull'asse delle ordinate la somma delle portate (Q_{1s} + Q_{2s}) che scambiano.

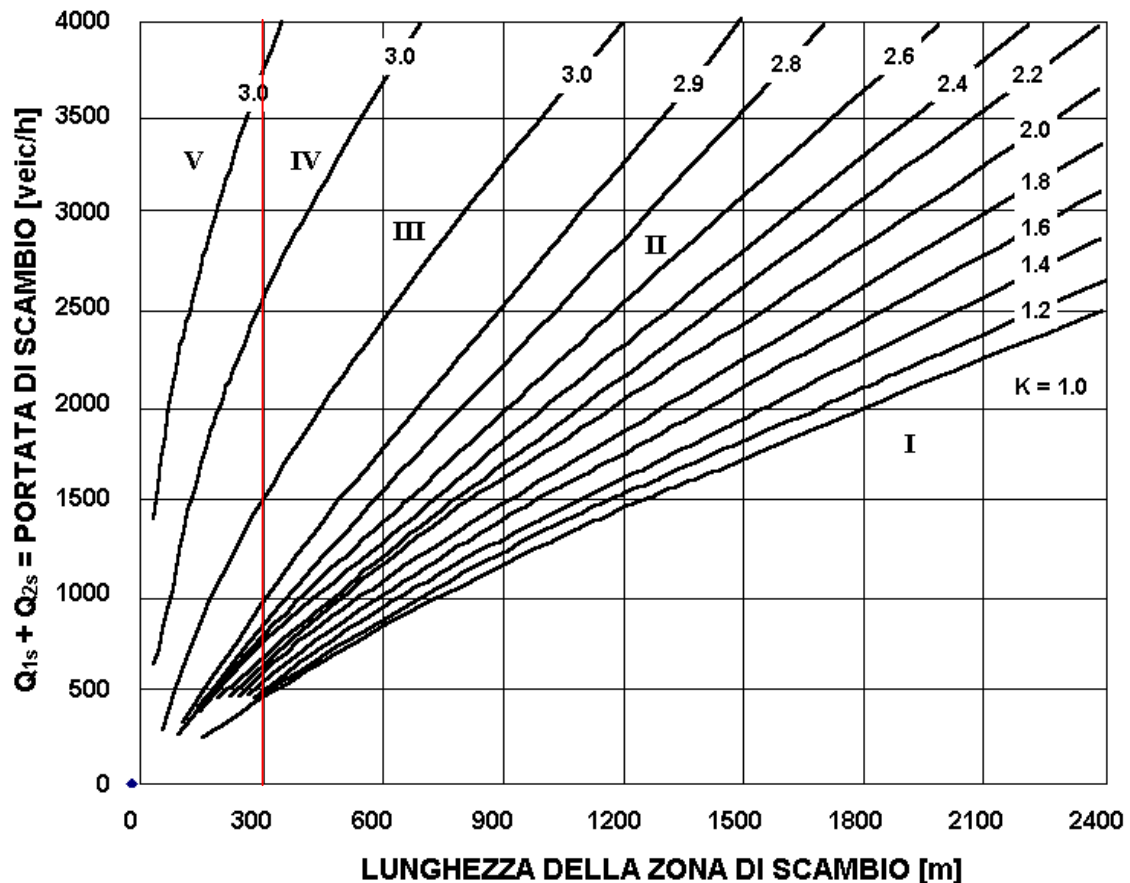



Figura 16 Abaco per il calcolo della lunghezza di una zona di scambio

L'abaco comprende una famiglia di curve, suddivise in gruppi, ciascuno contrassegnato con un indice, da I a V, rappresentanti diverse *qualità di circolazione* nella zona di scambio, da ottima a scadente.

Assegnata alla zona di scambio una certa lunghezza (che si legge sull'asse delle ascisse), ed individuata la qualità di circolazione che si vuole assegnare allo scambio, e quindi una certa curva dell'abaco, si legge (sull'asse delle ordinate) la portata compatibile con la lunghezza assegnata. Viceversa, partendo dalla portata, ed assegnata la qualità di circolazione, si può calcolare la lunghezza dello scambio, oppure, assegnate portata e lunghezza, si può ricavare la qualità della circolazione.

La qualità della circolazione, in questo metodo di progetto, viene espressa in funzione della velocità media con cui i veicoli che scambiano percorrono la zona di scambio; in particolare le curve contrassegnate con gli indici III, IV e V sono relative a velocità rispettivamente di 65-70 km/h, 50-55 km/h, 35-50 km/h. Per le curve appartenenti

ai gruppi contrassegnati con gli indici I e II la velocità possibile è senz'altro superiore a 70 km/h, anche se non può essere individuata con precisione, poiché a questi livelli di circolazione portate di scambio e portate dirette tendono a percorrere le stesse corsie.

Ciascuna curva dell'abaco è contrassegnata da un numero K, variabile da 1.0 a 3.0 che viene utilizzato per il calcolo della sezione trasversale della zona di scambio. Tale calcolo viene eseguito in base a una portata virtuale Q crescente col peggiorare della qualità della circolazione, fornita dalla somma delle portate dirette ($Q_1 + Q_2$), della maggiore delle due portate di scambio e della minore moltiplicata per il fattore K ottenuto dall'abaco.

Cioè:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_{1s} + K \cdot Q_{2s}$$

Nell'ipotesi che risulti: $Q_{1s} > Q_{2s}$.

Il D.M. 19/04/2006 afferma che la lunghezza dei tronchi di scambio deve essere determinata secondo procedure basate sulla "distribuzione probabilistica dei distanziamenti temporali tra i veicoli in marcia".

In definitiva, nel presente paragrafo viene valutato il livello di funzionalità della zona di scambio, caratterizzato dalla lunghezza di scambio "L", al variare delle portate e dei livelli di qualità della circolazione, con l'ausilio dell'abaco mostrato in precedenza (Figura 16).

La lunghezza del tronco di scambio è convenzionalmente definita come la distanza fra il punto ubicato nel triangolo di immissione dove la distanza fra il margine destro della carreggiata corrente dista 0,60 m dal margine sinistro della rampa di immissione, ed il punto del triangolo di uscita dove i due margini distano 3,60 m. Quindi, su tali ipotesi la lunghezza della zona di scambio in oggetto ha una lunghezza di 300,00 m.

Inserendo tale lunghezza nell'abaco della Figura 16, si possono descrivere i livelli qualitativi e prestazionali della zona di scambio al variare della portata espressa in

veic/h. In particolare, per i valori compresi tra 0 e 1000 veic/h la qualità della circolazione risulta essere sicuramente ottima contrassegnata dall'indice "I" e con velocità di percorrenza idonei ai tipi di tracciati proposti. Al crescere della portata, dai 1500 ai 2500 veic/h la qualità diminuisce, ma risultando comunque sempre accettabile, oltre tale limite, invece, la qualità diventa scadente con conseguenti valori della velocità molto bassi, fino a raggiungere i 30 km/h.

Non avendo a disposizione i dati di traffico relativi al prolungamento della via Federigo Enriques, essendo questa viabilità di nuova realizzazione, non è possibile effettuare un'analisi esatta sul livello della qualità della circolazione su tale zona di scambio. Tuttavia, analizzando i dati di traffico esistenti sulla via Leonardo da Vinci, è possibile effettuare delle valide considerazioni sulla eventuale funzionalità di tale scambio. Ovvero, come spiegato nel capitolo 3 della presente relazione di tesi, i flussi veicolari bidirezionali sulla via Leonardo da Vinci ad oggi ammontano a 1400-1450 veic./h (compresi i mezzi destinati alla viabilità portuale). Supponendo, che la proposta progettuale avanzata, migliori nettamente la viabilità nell'area interessata, ci sarà allora un incremento dei flussi veicolari: in quanto gli utenti constatando i benefici che tale soluzione apporta, potrebbero decidere di abbandonare i loro soliti itinerari per sostituirli con il nuovo raddoppio o con il prolungamento della via Federigo Enriques. Tuttavia, per fare in modo che la qualità della circolazione nella zona di scambio diventi insoddisfacente occorre che i valori dei flussi di traffico siano di almeno 2500 veic/h (in senso monodirezionale) come risulta dal precedente abaco, quindi sarà necessario un incremento pari a 1800 veic/h, cioè l'attuale traffico dovrebbe quasi triplicarsi.

4.6. Aspetti funzionali

4.6.1. Barriere di sicurezza

Le barriere di sicurezza inserite lungo il tracciato sono individuate sulla base di quanto indicato nei Decreti del 3 giugno 1998 e del 11 giugno 1999, aggiornati dal D. Min. Infrastrutt. Trasporti 21/06/2004, che recepisce ed uniforma la normativa di riferimento italiana agli indirizzi richiamati dalla normativa Europea in via di definizione. L'ultimo Decreto citato introduce infatti il concetto di salvaguardia

dell’utenza stradale imponendo ai progettisti e costruttori il rispetto degli indici di severità nei confronti dei passeggeri valutando la capacità di assorbimento dell’energia di cui è dotato il veicolo in movimento. Per identificare le zone in cui si rende necessaria l'installazione delle barriere stradali, si deve partire dall'individuazione degli ostacoli presenti e costituenti potenziale pericolo per la circolazione stradale. A tal fine, basandosi su quanto riportato all'art. 3 del D.M. 21/6/2004 n.2367, sono state identificate le seguenti zone su cui procedere all'installazione delle protezioni:

• Rilevati stradali: l'installazione delle barriere stradali è stata prevista per i tratti di rilevato aventi altezza uguale o superiore a 1 m;

• pali d'illuminazione e/o pali infissi disposti a distanza ridotta dal ciglio della carreggiata;

• pile e spalle di ponti;

Risultando, sulla base dei dati di traffico a disposizione, per il tratto stradale in progetto un traffico caratterizzato da un TGM superiore a 1000 unità con presenza di veicoli aventi massa superiore a 3,5 t maggiore del 15% del traffico totale, le barriere di sicurezza sono state progettate considerando una condizione di traffico di tipo III.

Tipo di traffico	TGM	% Veicoli con massa > 3,5 t
I	≤ 1000	qualsiasi
I	> 1000	≤ 5
II	> 1000	5 < n ≤ 15
III	> 1000	> 15

Tabella 31 Classificazione dei livelli di traffico

Tabella A - BARRIERE LONGITUDINALI				
Tipo di strada	**Tipo di traffico**	**Barriere spartitraffico**	**Barriere bordo laterale**	**Barriere bordo ponte**
Autostrade (A) e strade extraurbane principali	I	H2	H1	H2
	II	H3	H2	H3
	III	H3-H4 (2)	H2-H3 (2)	H3-H4 (2)
Strade extraurbane secondarie (C) e strade urbane di scorrimento (D)	I	H1	N2	H2
	II	H2	H1	H2
	III	H2	H2	H3
Strade urbane di quartiere (E) e strade locali (F)	I	H2	N1	H2
	II	H1	N2	H2
	III	H1	H1	H2

(1) Per ponti o viadotti si intendono opere di luce superiore a 10 metri; per luci minori sono equiparate al bordo laterale
(2) La scelta tra le due classi sarà determinata dal progettista

Tabella 32 Barriere longitudinali

Conseguentemente sono state previste nelle varie situazioni le seguenti barriere:

· barriere bordo laterale (rilevato): classe H1

· barriere bordo ponte: classe H2

Nel seguito del paragrafo saranno descritte le singole barriere nelle varie situazioni nelle quali sono state previste:

- **su rilevato:** il progetto prevede la messa in opera di barriera metallica doppia-onda tipo H1;
- **su opera d'arte**: il progetto prevede l'installazione di barriera metallica tripla onda tipo H2.

Alle estremità di monte delle barriere laterali (quindi all'inizio della barriera per i mezzi provenienti nel senso di marcia dei veicoli) è stata prevista l'installazione di terminali speciali testati secondo UNI EN 1317-4 di tipo omologato, di classe almeno "P2". Invece alle estremità di valle delle barriere laterali (quindi al termine della barriera per i mezzi provenienti nel senso di marcia dei veicoli) è stata prevista l'installazione di normali terminali semplici (lame interrate con deflessione verso l'esterno carreggiata della lama)

4.6.2. Segnaletica stradale orizzontale e verticale

Tutta la segnaletica orizzontale sarà eseguita in conformità a quanto disposto dall'art. 40 del Nuovo Codice della strada e per la sua realizzazione dovrà essere impiegata vernice rifrangente con post spruzzatura di perline rifrangenti. Il materiale della segnaletica orizzontale deve essere antisdrucciolevole e non deve sporgere più di 3 mm dal piano della pavimentazione. Lo schema di segnaletica orizzontale prevede:

- Strisce di mezzeria della larghezza di 12.00cm;
- Strisce di margine della carreggiata da 15.00 cm;

- Strisce di dimensioni maggiori per le zebrature, barre di arresto segnaletica di precedenza ecc;
- Frecce per l'indicazione dell'uscita di svincolo;

In particolare, in corrispondenza degli svincoli sono previste strisce di raccordo continue ed oblique (zebrature) per far divergere il flusso veicolare ed evidenziare le zone interdette al traffico. Per quanto riguarda i segnali stradali verticali, essi sono da apporre per segnalare pericolo, indicazione e prescrizione. Devono avere caratteristiche conformi al Regolamento di Esecuzione e di Attuazione del Nuovo Codice della strada. Si dovrà tenere conto delle caratteristiche della strada, delle velocità di progetto e della prevalente tipologia di traffico.

4.6.3. Impianto di illuminazione stradale

Trattandosi di strade urbane, è prevista la realizzazione di impianti di illuminazione.

Gli obiettivi da perseguire attraverso il nuovo impianto di illuminazione pubblica sono i seguenti:

A. Sicurezza fisica e psicologica delle persone, con messa in evidenza degli eventuali attraversamenti pedonali;
B. Ottimizzazione dei costi di esercizio e di manutenzione con l'utilizzo di accorgimenti adeguati;
C. Integrazione visiva diurna e notturna con gli altri impianti esistenti sul territorio;
D. Contenimento dell'inquinamento luminoso con la scelta di apparecchi e modalità di installazione appropriati, utilizzo non invasivo della luce con la scelta di apparecchi appropriati;
E. Risparmio energetico con l'utilizzo di apparecchi con emissione LED;
F. Risparmio sulla manutenzione con l'utilizzo di apparecchi di illuminazione con tempo di vita di 50.000/70.000 ore.

Si dovranno prevedere livelli di illuminamento conformi alle leggi vigenti in materia. Le zone interessate dalle opere di progetto sono soggette a traffico motorizzato per cui sono vincolanti e cogenti le normative UNI riguardanti particolari livelli di illuminamento e luminanza.

L'impianto ed i suoi componenti dovrà essere realizzato a regola d'arte (Legge n° 186 del 01/03/68), le caratteristiche saranno rispondenti alle norme di legge, ai regolamenti vigenti, ed in particolare:

- alle prescrizioni ed indicazioni dell'Ente fornitore l'energia elettrica;
- alle disposizioni di legge e principali Norme CEI;
- alle indicazioni della Legge Regionale.

La distanza dei sostegni e di ogni altra parte dell'impianto dai limiti della carreggiata sarà tale da non creare interferenze con i veicoli che circolano regolarmente sulla carreggiata; si manterrà di regola una distanza di sicurezza di almeno 1.00 m dalla carreggiata.

Tutti gli apparecchi di illuminazione utilizzati saranno con emissione LED per garantire il massimo risparmio energetico e, soprattutto, il massimo risparmio in manutenzione con un tempo di vita degli apparecchi attorno alle 70.000/80.000 h contro le circa 10.000h delle fonti luminose tradizionali.

Ogni altra prescrizione, norma, regolamentazione e raccomandazione emanata da eventuali Enti ed applicabile agli impianti elettrici ed alle loro parti componenti, verrà applicata in fase di redazione del progetto esecutivo.

L'illuminazione sarà garantita da armature stradali a led con ottica apposita, tale da evitare abbagliamenti alle auto in arrivo. Saranno utilizzati pali in acciaio a sezione conica con dimensioni e altezza fuori terra di 6.00 m, conformi alle norme UNI EN40. Gli apparecchi saranno posati in plinto prefabbricato completo di pozzetto. I blocchi di fondazione in CLS costituenti la base dei sostegni avranno dimensioni stabilite e calcolate sulla base della norma CEI 11-4 valevoli anche per impianti in zona sismica.

4.6.4. Descrizione del sistema di drenaggio

Entrambe le nuove strade sono realizzate per la quasi totalità in rilevato e in viadotto. Sul rilevato, il sistema di drenaggio delle acque superficiali è garantito dalla presenza di canalette di embrici a passo di 20,00 m che convogliano le acque meteoriche ai fossi di guardia a forma trapezoidale, ubicati lateralmente alla strada. Considerato che l'area d'intervento è pressoché pianeggiante, è previsto il rivestimento in calcestruzzo dei fossi così da garantire un rapido deflusso delle acque. Sui viadotti saranno

realizzate delle bocchette per il convogliamento delle acque che saranno accompagnate al recapito finale mediante pluviali in PVC.

4.7. Pista ciclabile

L'amministrazione Comunale di Livorno ha recentemente redatto un progetto definitivo per la realizzazione di una pista ciclabile che colleghi la città di Livorno con la città di Pisa, passando per Calambrone e Tirrenia, di fondamentale importanza per i collegamenti città-mare. Nel tratto oggetto di studio nel presente lavoro di tesi, il tracciato si sviluppa parallelamente alla via Leonardo da Vinci, in aderenza al muro di cinta lato mare, per poi attraversare i binari della linea Calambrone-Porto in corrispondenza del vecchio passaggio a livello di fronte ai terminal del canale industriale per immettersi nella via Vasco Natale Jacoponi e proseguire verso il ponte sullo scolmatore del fiume Arno. Nel presente studio, viene ipotizzato un percorso parzialmente diverso nel tratto di intervento, cioè a partire dalla via Varese la proposta progettuale oggetto di tesi differisce da quella comunale: ciò si rende necessario in quanto l'attuale via Leonardo da Vinci, come già detto più volte, rimarrà ad esclusivo uso dei mezzi portuali e quindi la modifica apportata ha lo scopo di far si che i velocipedi transitino sulla nuova strada in variante. Infatti, in corrispondenza dell'inizio del nuovo raddoppio, la pista ciclabile s'inserisce a margine lato monte della suddetta via, costeggiandola per tutto il tratto e, correndo parallelamente alla linea ferroviaria Calambrone-Porto, sottopassa i viadotti dello svincolo della S.G.C. FI-PI-LI e subito dopo lo svincolo, nel punto in cui il corridoio dei fasci di binari è meno largo, li attraversa e costeggiando ancora i binari, in corrispondenza del vecchio passaggio a livello, si va ad allacciare al percorso previsto dal progetto definitivo elaborato dall'Amministrazione Comunale di Livorno. Quindi, nel punto di attraversamento occorre prevedere un passaggio a livello. Da sottolineare che la variante apportata ha il pregio di eliminare tutti i punti di conflitto tra la circolazione dei velocipedi e quella veicolare che si presentano nell'attuale progetto in corrispondenza degli ingressi dei terminal: con la soluzione proposta, oltre ad un aumento degli standard di sicurezza, si garantisce una circolazione più fluida e uniforme ai velocipedi.

Per quanto attiene alle caratteristiche geometriche la pista ciclabile, secondo le normative vigenti del D.M. n°557 del 30/11/1999 *"Regolamento per la definizione delle caratteristiche tecniche delle piste ciclabili"*, ha le seguenti dimensioni:

-Larghezza di 2,50 m (pista ciclabile a doppio senso di marcia, con una capacità garantita di 3000 bici/h);

-Pendenza longitudinale delle livellette inferiore al 2%;

-Raggi delle curve circolari maggiore di 5,00 m (misurati rispetto al ciglio interno della curva);

-Pendenza trasversale in curva del 2%.

4.8. Adeguamento della linea ferroviaria a servizio dei Terminal

Le modifiche apportate alla viabilità e descritte in precedenza, non potranno condizionare il trasporto ferroviario delle linee esistenti: pertanto, è necessario prevedere l'adeguamento dell'esistente linea ferroviaria che connette la stazione di Calambrone ai terminal ubicati sulla via stessa. Tale adeguamento consiste nell'ubicare i nuovi binari in posizione centrale rispetto alla via Leonardo da Vinci e il nuovo tracciato, operando uno spostamento trasversale in direzione Ovest. L'area di occupazione della linea ferroviaria ha una larghezza di 8,00 m, separata dalla viabilità da una rete a maglia sciolta.

Con tale modifica alla viabilità globale, allo stesso tempo, si opera una riduzione degli attraversamenti ferroviari che da quattro passano a uno soltanto. E' chiaro che questi attraversamenti risultano molto pericolosi e non più ammissibili, visto che quando un treno deve effettuare la manovra la congestione del traffico si ripercuote fino a Livorno in direzione Sud e sulla S.G.C. FI-PI-LI in direzione Nord. Pertanto, in sede di progetto è stata posta particolare attenzione alla risoluzione di questa criticità. Con la nuova viabilità, le tre intersezioni avvengono con la viabilità portuale, lasciando al raddoppio solo l'ultima intersezione che mette in collegamento la stazione di Calambrone con la nuova linea ferroviaria parallela alla via Leonardo da Vinci che ha appunto il compito di continuare a collegare i Terminal ubicati su questa via. In fase di studio preliminare, è stata ipotizzata una soluzione diversa, ovvero quella di

realizzare un viadotto che scavalcasse anche quest'ultima intersezione, eliminando dunque qualsiasi interazione strada ferrovia: tuttavia, analizzando i flussi ferroviari, ci si è resi conto che il numero di tali manovre non giustificava un intervento così dispendioso in termini economici. Inoltre, va sottolineato che con la nuova viabilità la via Federigo Enriques acquisisce la precedenza sul resto dei flussi e, pertanto, la maggior parte del traffico, come è logico pensare, si trasferisce in questa zona collegandosi direttamente con la Via Aurelia e semplificando la penetrazione alla zona urbana della città.

Anche gli ingressi ai terminal sono stati adeguati alla nuova linea ferroviaria, garantendo traiettorie con un raggio minimo di 150 m. L'unico ingresso modificato è il primo a Sud, in prossimità dello stabilimento Solvay Solutions, che geometricamente è stato specchiato, ovvero nella proposta segue una curva destrorsa provenendo in direzione Nord-Sud.

Naturalmente, è stato rettificato anche il collegamento di tale linea con il fascio di binari a servizio della stazione di Calambrone.

5. STIMA ECONOMICA

5.1. Considerazioni generali

Per eseguire la stima economica degli interventi previsti nel presente studio di tesi, si è utilizzato un metodo parametrico basato sul costo dell'infrastruttura viaria a metro quadrato di opera finita. Per ottenere tale valore si è dapprima proceduto a eseguire una stima economica di massima per determinare il costo di 10,00 metri lineari, redigendo un'apposita tabella riassuntiva. Alla base di tale stima sono state assunte le seguenti considerazioni:

- la strada si sviluppa su un rilevato di altezza pari a 1,00 m;
- è stato considerato uno scotico di profondità 20 cm;
- il rivestimento delle scarpate è eseguito con terreno vegetale di spessore 20 cm;
- la sovrastruttura è composta da: stabilizzato di cava di spessore 30 cm, strato di misto cementato di spessore 20 cm, strato di conglomerato bituminoso di base di spessore 10 cm, strato di conglomerato bituminoso di binder di spessore 6 cm, tappeto di usura di spessore 3 cm;
- è stato considerata la presenza di fosso di guardia lateralmente all'ingombro stradale.

Si riportano qui di seguito, gli schemi grafici adottati per la stima, rispettivamente per il prolungamento della via Federigo Enriques, per il raddoppio della via Leonardo da Vinci e per le rampe:

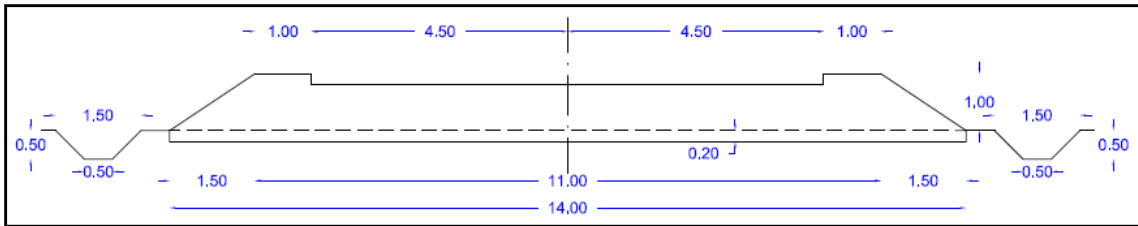



Figura 17 Schema sezione trasversale, prolungamento via F. Enriques

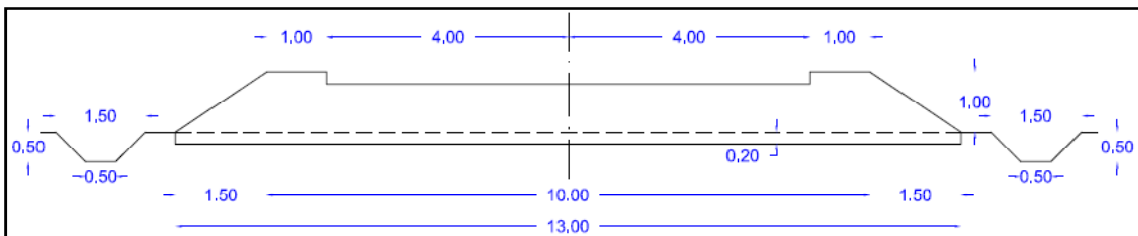



Figura 18 Schema sezione trasversale, raddoppio via L. da Vinci

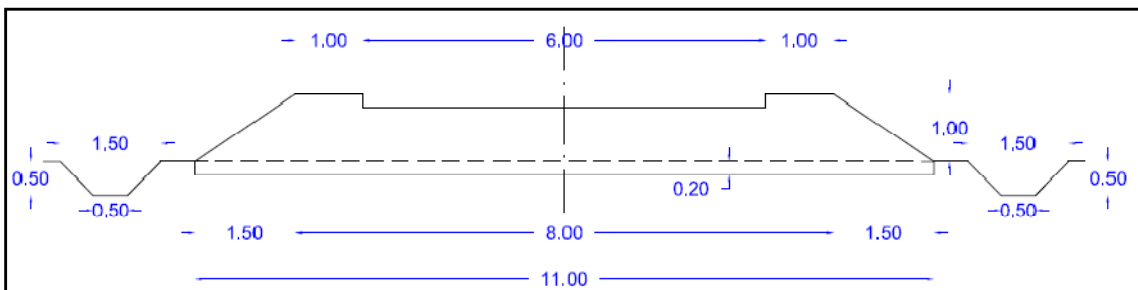



Figura 19 Schema sezione trasversale, rampe

Quindi, dagli elaborati grafici, si è potuto calcolare i metri quadrati di strada: a questo punto, dividendo i due valori ottenuti (costo di 10,00 metri lineari e metri quadrati totali di pavimentazione) si è ricavato il costo unitario per metro quadrato di strada che, moltiplicato per i metri quadrati totali, ha permesso di ottenere il costo totale stimato per la realizzazione dell'infrastruttura. Per i tratti in viadotto è stato utilizzato il prezzo unitario di 1.500,00 €/mq desunto dai costi di realizzazioni di strutture di caratteristiche similari a quelle previste, realizzate in zone limitrofe: allo stesso modo, per la pista ciclabile è stato utilizzato il prezzo unitario a metro lineare desunto dal progetto definitivo elaborato dal Comune di Livorno e pari a 150,00 €/m. Tale procedimento è stato eseguito per tutte le proposte progettuali le cui caratteristiche differiscono tra loro in termini geometrici e funzionali. I prezzi unitari impiegati per la stima economica degli interventi sono stati desunti dai seguenti prezzari:

- Prezzario ANAS s.p.a. "Compartimento per la viabilità per la Toscana";

- Prezzario della Regione Toscana per la costruzione di nuove infrastrutture stradali.

Nei paragrafi successivi sono riportati gli sviluppi eseguiti per ogni strada studiata.

5.2. Via Enriques

Si riportano di seguito le tabelle riassuntive della stima economica effettuata per via Federigo Enriques:

Descrizione	U.M.	Quantità	Prezzo unitario	Importo
Scavo di sbancamento	mc	38,00	€ 2,83	€ 107,54
Preparazione piano di posa	mq	140,00	€ 0,52	€ 72,80
Fornitura e stesa di teli geotessili	mq	140,00	€ 2,91	€ 407,40
Fornitura materiali per rilevati	mc	105,00	€ 15,08	€ 1.583,40
Fornitura di terreno vegetale	mc	11,00	€ 10,14	€ 111,54
Sistemazione rilevato	mc	105,00	€ 1,45	€ 152,25
Materiali aridi con funzione anticapillare	mc	28,00	€ 22,83	€ 639,24
Fondazione stradale	mc	27,00	€ 28,84	€ 778,68
F.P.O. di canalette trapezoidali	m	8,00	€ 21,95	€ 175,60
Strato di fondazione in misto cementato	mc	18,00	€ 42,99	€ 773,82
Strato di base	mq	90,00	€ 8,44	€ 759,60
Strato di binder	mq	90,00	€ 6,11	€ 549,90
Strato di usura	mq	90,00	€ 3,78	€ 340,20
F.P.O. di tubi in cls	m	10,00	€ 31,29	€ 312,90
F.P.O. di tubi in PVC	m	40,00	€ 4,05	€ 162,00
F.P.O. di nastro localizzatore	m	20,00	€ 0,29	€ 5,80
Esecuzione di strisce	m	40,00	€ 0,46	€ 18,40
Formazione di segnali, scritte ecc	mq	2,00	€ 5,00	€ 10,00
F.P.O. di delineatori stradali	cad	2,00	€ 10,33	€ 20,66
F.P.O. di occhi di gatto	cad	4,00	€ 6,50	€ 26,00
Posa in opera di sostegni	cad	1,00	€ 25,31	€ 25,31
Posa in opera di segnali	cad	2,00	€ 4,50	€ 9,00
F.P.O. di barriere di sicurezza	m	20,00	€ 98,61	€ 1.972,20
Installazione impianto di illuminazione	a corpo	0,33	€ 2.000,00	€ 660,00

TOTALE ***€ 9.674,24***

metri quadrati totali **90,00**

costo unitario al mq **€ 107,49**

Strada	in rilevato (mq)	in viadotto (mq)
Sviluppo	2000,00	4000,00
Costi unitari	€ 107,49	€ 1.500,00
Importo	€ 214.983,11	€ 6.000.000,00
IMPORTO TOTALE	**€ 6.214.983,11**	

5.3. Via Leonardo da Vinci

Si riportano di seguito le tabelle riassuntive della stima economica effettuata per via Leonardo da Vinci:

Descrizione	U.M.	Quantità	Prezzo unitario	Importo
Scavo di sbancamento	mc	36,00	€ 2,83	€ 101,88
Preparazione piano di posa	mq	130,00	€ 0,52	€ 67,60
Fornitura e stesa di teli geotessili	mq	130,00	€ 2,91	€ 378,30
Fornitura materiali per rilevati	mc	96,00	€ 15,08	€ 1.447,68
Fornitura di terreno vegetale	mc	11,00	€ 10,14	€ 111,54
Sistemazione rilevato	mc	96,00	€ 1,45	€ 139,20
Materiali aridi con funzione anticapillare	mc	26,00	€ 22,83	€ 593,58
Fondazione stradale	mc	24,00	€ 28,84	€ 692,16
F.P.O. di canalette trapezoidali	m	8,00	€ 21,95	€ 175,60
Strato di fondazione in misto cementato	mc	16,00	€ 42,99	€ 687,84
Strato di base	mq	80,00	€ 8,44	€ 675,20
Strato di binder	mq	80,00	€ 6,11	€ 488,80
Strato di usura	mq	80,00	€ 3,78	€ 302,40
F.P.O. di tubi in cls	m	10,00	€ 31,29	€ 312,90
F.P.O. di tubi in PVC	m	40,00	€ 4,05	€ 162,00
F.P.O. di nastro localizzatore	m	20,00	€ 0,29	€ 5,80
Esecuzione di strisce	m	40,00	€ 0,46	€ 18,40
Formazione di segnali, scritte ecc	mq	2,00	€ 5,00	€ 10,00
F.P.O. di delineatori stradali	cad	2,00	€ 10,33	€ 20,66
F.P.O. di occhi di gatto	cad	4,00	€ 6,50	€ 26,00
Posa in opera di sostegni	cad	1,00	€ 25,31	€ 25,31
Posa in opera di segnali	cad	2,00	€ 4,50	€ 9,00
F.P.O. di barriere di sicurezza	m	20,00	€ 98,61	€ 1.972,20
F.P.O. di cordonato	m	20,00	€ 19,36	€ 387,20
Installazione impianto di illuminazione	a corpo	0,33	€ 2.000,00	€ 660,00

TOTALE ***€ 9.471,25***

metri quadrati totali **80,00**

costo unitario al mq **€ 118,39**

Strada	in rilevato (mq)	in viadotto (mq)
Sviluppo	10000,00	0,00
Costi unitari	€ 118,39	€ 1.500,00
Importo	€ 1.183.906,25	€ 0,00
IMPORTO TOTALE	**€ 1.183.906,25**	

5.4. Rampe

Descrizione	U.M.	Quantità	Prezzo unitario	Importo
Scavo di sbancamento	mc	32,00	€ 2,83	€ 90,56
Preparazione piano di posa	mq	110,00	€ 0,52	€ 57,20
Fornitura e stesa di teli geotessili	mq	110,00	€ 2,91	€ 320,10
Fornitura materiali per rilevati	mc	84,00	€ 15,08	€ 1.266,72
Fornitura di terreno vegetale	mc	11,00	€ 10,14	€ 111,54
Sistemazione rilevato	mc	84,00	€ 1,45	€ 121,80
Materiali aridi con funzione anticapillare	mc	22,00	€ 22,83	€ 502,26
Fondazione stradale	mc	18,00	€ 28,84	€ 519,12
F.P.O. di canalette trapezoidali	m	8,00	€ 21,95	€ 175,60
Strato di fondazione in misto cementato	mc	12,00	€ 42,99	€ 515,88
Strato di base	mq	60,00	€ 8,44	€ 506,40
Strato di binder	mq	60,00	€ 6,11	€ 366,60
Strato di usura	mq	60,00	€ 3,78	€ 226,80
F.P.O. di tubi in cls	m	10,00	€ 31,29	€ 312,90
F.P.O. di tubi in PVC	m	40,00	€ 4,05	€ 162,00
F.P.O. di nastro localizzatore	m	20,00	€ 0,29	€ 5,80
Esecuzione di strisce	m	40,00	€ 0,46	€ 18,40
Formazione di segnali, scritte ecc	mq	2,00	€ 5,00	€ 10,00
F.P.O. di delineatori stradali	cad	2,00	€ 10,33	€ 20,66
F.P.O. di occhi di gatto	cad	4,00	€ 6,50	€ 26,00
Posa in opera di sostegni	cad	1,00	€ 25,31	€ 25,31
Posa in opera di segnali	cad	2,00	€ 4,50	€ 9,00
F.P.O. di barriere di sicurezza	m	20,00	€ 98,61	€ 1.972,20
Installazione impianto di illuminazione	a corpo	0,33	€ 2.000,00	€ 660,00

TOTALE	***€ 8.002,85***
metri quadrati totali	**60,00**
costo unitario al mq	**€ 133,38**

Strada	in rilevato (mq)	in viadotto (mq)
Sviluppo	2500,00	2000,00
Costi unitari	€ 133,38	€ 1.500,00
Importo	€ 333.452,08	€ 3.000.000,00
IMPORTO TOTALE	**€ 3.333.452,08**	

5.5. Costo totale dell'intervento

Sulla base di quanto detto nei paragrafi precedenti, il costo totale degli interventi previsti dal presente studio di tesi è pari a circa € 11.400.000,00 come schematizzato nella tabella seguente:

Strada	Costo stimato
Via F. Enriques	€ 6.214.983,11
Via L. da Vinci	€ 1.183.906,25
Rampa in entrata/uscita a S.G.C.	€ 3.333.452,08
Pista ciclabile	€ 700.000,00
IMPORTO TOTALE	**€ 11.432.341,44**

6. CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITÀ AMBIENTALE, TECNICA ED ECONOMICA

Il presente studio di tesi, in seguito all'entrata in vigore del Piano Regolatore Portuale e alla luce delle numerose criticità sopra evidenziate, ha analizzato un ampio spettro progettuale di cui fanno parte: il prolungamento della via Federigo Enriques, con il conseguente collegamento della stessa allo svincolo della FI-PI-LI, l'adeguamento dell'attuale via Leonardo da Vinci a strada ad uso esclusivo portuale, il raddoppio della stessa per continuare a svolgere ed adempiere agli scopi attuali e l'adeguamento del binario ferroviario prospiciente alla stazione di Calambrone che continuerà a collegare i vari terminal presenti nell'area con la stazione stessa. In ultimo, è prevista anche la realizzazione di una pista ciclabile in aderenza alla variante della via Leonardo da Vinci: tale progetto è stato in parte mutuato da quello redatto dal Comune di Livorno.

Si ritiene importante sottolineare che lo studio effettuato non è stato finalizzato solamente ad individuare la soluzione proposta che si ritiene tecnicamente valida e in grado di soddisfare le esigenze attuali: ci si è preoccupati, infatti, di presentare delle proposte estremamente versatili in modo che siano facilmente adattabili a future esigenze di pianificazione e sviluppo da parte degli Enti Locali e dell'Autorità Portuale. Ad esempio, una qualunque modifica alla viabilità comunale limitrofa alla zona d'intervento è facilmente configurabile alla proposta presentata nella tesi. Ancora: gli eventuali sviluppi futuri che possano portare ad un ampliamento territoriale a servizio del Porto sono perfettamente compatibili con la presente proposta progettuale.

Lo studio presenta, in sostanza, una soluzione progettuale non puntuale, ma globale e ad ampio respiro, articolandosi su una vasta porzione di territorio con lo scopo non solo di razionalizzare e rendere più fruibili gli accessi al Porto, ma anche e soprattutto di migliorare le condizioni di transito e di fluidità della circolazione stradale nelle aree limitrofe allo stesso. Dalla lettura dei paragrafi precedenti, infatti, si è potuto constatare che gli effetti che scaturirebbero dalla realizzazione degli interventi

proposti agirebbero in maniera radicale sul vero aspetto critico della circolazione stradale all'interno delle aree oggetto di studio, ossia sulla commistione tra le diverse tipologie di traffico in transito, leggero (proveniente dalla vicina città di Livorno) e pesante in transito dal Porto. Ciò comporterebbe non solo la drastica riduzione del tasso d'incidentalità, ma contribuirebbe anche e in maniera sostanziale a ridurre notevolmente le code e i tempi di attesa per i numerosi utenti che attualmente utilizzano la via Leonardo da Vinci per recarsi sul litorale tirrenico (notevoli benefici, a tale proposito, apporta la realizzazione della pista ciclabile) e a facilitare lo spostamento verso la S.G.C. FI-PI-LI e il Porto di artigiani e piccoli imprenditori attivi in località Picchianti. Tali flussi di traffico, intercettati dalla nuova viabilità, andrebbero ad alleggerire quelli attualmente presenti sulla via Aurelia, trasferendone i benefici in termini di riduzione dei tempi di spostamento anche all'utenza comune, che utilizza la viabilità esistente per scopi non prettamente commerciali o turistici. Insomma, gli effetti benefici apportati dalla proposta progettuale presentata andrebbero ad interessare un'ampia fascia di utenti: si ritiene che l'intervento globale presenti un ampio spettro di effetti positivi nel contesto della viabilità locale dei quali possono beneficiare tutti gli utenti, qualunque sia lo scopo per il quale si trovano a transitare nella zona.

Al contempo, proprio in considerazione dell'ampiezza del territorio interessato dall'intervento e all'importante impegno economico che la Comunità sarebbe chiamata a sostenere per la sua realizzazione, è innegabile che vadano effettuate anche opportune valutazioni in merito alla fattibilità dello stesso e all'impatto ambientale che avrebbe. In assenza degli elementi conoscitivi necessari a effettuare un'analisi benefici costi che, tra l'altro, esula dagli scopi della presente tesi di laurea, si ritiene opportuno fornire di seguito alcune considerazioni in termini di fattibilità che, se approfondite mediante l'esecuzione dei necessari studi tecnico/economici, potranno dare una risposta più precisa e chiara in merito alla reale portata dell'intervento e alla sua fattibilità:

<u>Fattibilità ambientale</u> - per quanto concerne l'aspetto ambientale, si ritiene che l'intervento possa considerasi fattibile in quanto:

Produce una sostanziale riduzione dell'inquinamento acustico e atmosferico: in quanto rende la circolazione veicolare più fluida, riduce notevolmente le code e, quindi, i relativi tempi di attesa, grazie anche all'eliminazione delle interferenze con la rete ferroviaria. Incide in maniera sostanziale nel favorire tali aspetti, la separazione dei flussi di traffico leggeri da quelli pesanti: in particolare, i mezzi leggeri possono circolare in maniera decisamente più fluida, in quanto non subiscono i rallentamenti o gli arresti che allo stato attuale sostengono a causa delle manovre in entrata e uscita dal Porto da parte dei mezzi pesanti o a causa della loro ridotta velocità. Un altro aspetto migliorativo in tal senso deriva dalla creazione di aree dotate di circa 100 stalli dedicati alla sosta dei mezzi pesanti in attesa di confluire nell'area portuale: attualmente non esiste un'area esclusivamente dedicata a questa funzione e tali mezzi si trovano dislocati in ordine sparso e senza alcuna disciplina nelle aree limitrofe, causando non pochi disagi alla circolazione. La realizzazione della pista ciclabile, poi, incentiva l'impiego delle biciclette, specie nei periodi estivi, in quanto il ciclista si sente più protetto dal fatto di poter circolare in sede riservata e anche questo fattore contribuisce a ridurre il numero dei veicoli circolanti, con conseguente abbattimento del livello di polveri sottili disperse nell'aria;

Produce una sostanziale riduzione delle emissioni sonore dei veicoli e quindi elimina alcune cause di inquinamento acustico: mediante il prolungamento della via Enriques, realizza una sostanziale riduzione del traffico circolante in zona urbana, con conseguente riduzione di emissioni inquinanti e acustiche in zone urbanizzate;

Non produce alterazioni importanti dell'impatto visivo rispetto alla situazione in essere, in quanto tutte le opere previste si integrano con le opere già esistenti in un contesto prettamente industriale e commerciale, tenuto conto, per altro, che non vengono realizzate rilevati o manufatti stradali di notevole altezza, a meno delle opere d'arte strettamente necessarie a garantire lo scavalco delle infrastrutture ferroviarie esistenti;

Le lavorazioni previste per la realizzazione delle opere non presentano peculiarità tali da richiedere l'impiego di materiali particolari e/o diversi da quelli reperibili in loco. In particolare, considerate le modeste altezze dei rilevati previsti e quindi la

modesta domanda di capacità portante, è auspicabile l'impiego di materiali riciclati in modo tale da minimizzare l'utilizzo di materiali naturali e quindi lo sfruttamento delle relative cave. Anche le attrezzature necessarie all'esecuzione dei lavori sono di facile reperibilità e, pertanto, i lavori possono essere eseguiti da imprese locali: ciò minimizza anche gli spostamenti dei mezzi d'opera e il relativo impatto ambientale;

La realizzazione del raddoppio della via Leonardo da Vinci è prevista sul sedime ferroviario e, quindi, in area già occupata da infrastrutture di trasporto, sacrificando solamente due dei tanti binari attualmente esistenti nella Stazione di Calambrone. Si sottolinea, a tale proposito, che la soluzione presentata si concilia perfettamente con le previsioni degli Enti competenti in merito alla modifica del numero dei binari a servizio della suddetta stazione.

Per quanto detto al punto precedente, per la realizzazione del raddoppio, non è prevista l'occupazione di alcuna porzione di territorio destinato ad uso diverso da quello viario;

Le proposte progettuali sono tali da non incidere sull'esercizio della viabilità esistente in quanto i nuovi tracciati si sviluppano al di fuori di quelli attuali, a parte in zone limitate per consentire i reciproci collegamenti. Pertanto, anche la cantierizzazione e le fasi di esecuzione risultano facilitate poiché non presentano interferenze con l'attuale circolazione stradale. Il vantaggio in tali termini risulta notevole, vista il ruolo centrale strategico che riveste tale zona nel contesto della viabilità sovra comunale;

Fattibilità tecnica - per quanto concerne l'aspetto tecnico, si ritiene che l'intervento possa considerasi fattibile in quanto:

Chiaramente, tutti i tracciati sono stati progettati nel pieno rispetto delle prescrizioni tecniche fornite dalla Normativa vigente in materia: ampio riscontro di quanto affermato, può essere ricavato dalla consultazione del Capitolo 4 del presente studio che riporta le verifiche tecnico funzionali eseguite per i singoli elementi dei tracciati stradali. Pertanto, con questa proposta non ci si è preoccupati di individuare

solamente delle soluzioni funzionalmente valide, ma anche che rispettassero i requisiti tecnici e quindi che risultassero fattibili;

La soluzione proposta è la sintesi di uno studio approfondito e dettagliato che ha visto l'analisi di una serie di alternative progettuali: è stata ritenuta la migliore in quanto è l'unica che ha permesso di conciliare i molti vincoli presenti nell'area di intervento e costituiti, in particolare, dalla presenza: di diverse linee ferroviarie, esistenti, in fase di realizzazione e in previsione, di diversi corsi d'acqua e, in particolare, del Torrente Ugione, viabilità esistente, opere d'arte esistenti, confini dell'area portuale. Tra i vincoli esistenti, merita una particolare menzione il viadotto esistente dello svincolo della S.G.C. FI-PI-LI che ha condizionato in maniera importante le scelte progettuali. In fase preliminare, si è cercato di conservare in toto l'attuale struttura, formulando una valida soluzione che lo permettesse. In realtà, ciò non è stato possibile, se non in parte, in quanto la soluzione concepita appariva inopportuna dal punto di vista del comfort della circolazione, in quanto prevedeva una successione di livellette che portavano ad ottenere un andamento altimetrico fortemente irregolare. Per scongiurare tale criticità e, quindi, garantire un'adeguata regolarità di marcia, la soluzione definitiva prevede il rifacimento di una parte del suddetto viadotto;

Con la soluzione apportata le diverse interferenze attualmente presenti tra il tracciato di via Leonardo da Vinci e la linea ferroviaria a servizio dei terminal vengono ridotte a una soltanto: questa circostanza contribuisce notevolmente ad incrementare gli standard di sicurezza della circolazione stradale, nonché incide in maniera favorevole sugli aspetti ambientali già trattati in precedenza;

Lo studio finale si concilia perfettamente con le modifiche infrastrutturali attualmente in fase di realizzazione e anche con quelle già progettate e in attesa di essere realizzate da parte degli Enti che si trovano ad operare nella stessa zona. In particolare, il progetto è compatibile con le modifiche previste alla rete ferroviaria (nuova linea che collega il Porto alla Stazione di Calambrone, alla linea Tirrenica e all'Interporto Amerigo Vespucci di Guasticce) e al progetto della pista ciclabile già redatto dal Comune di Livorno. In particolare, come già spiegato nel paragrafo 4.7,

quest'ultima soluzione viene in gran parte mantenuta e modificata nel tratto dove è prevista la realizzazione della nuova viabilità al fine di renderla ad essa compatibile.

Fattibilità economica - per quanto concerne l'aspetto economico, si ritiene che l'intervento possa considerasi fattibile in quanto:

Nella porzione di territorio su cui si sviluppa la proposta, si trovano ad interagire più Enti, che sono: Comune di Livorno, Autorità Portuale di Livorno, Regione Toscana, Ferrovie dello Stato ecc. i quali godono dei benefici apportati dalla stessa proposta. Pertanto, l'importante costo di realizzazione può essere sostenuto mediante un eventuale accordo di cofinanziamento;

Rifacendosi al concetto di soluzione versatile già esposto precedentemente, è da sottolineare in questa sede che la soluzione proposta è divisibile in più lotti funzionali e quindi realizzabile secondo una programmazione temporale che possa tenere conto delle risorse economiche disponibili;

Considerate le tante criticità della viabilità esistente per come analizzate nei paragrafi precedenti, si ritiene che il costo stimato necessario alla realizzazione degli interventi proposti (si veda a tale proposito il Capitolo 5 sulla stima economica) sia ragionevolmente congruo ai benefici che se ne ottengono. Tra gli innegabili benefici che si otterrebbero dalla realizzazione degli interventi descritti, merita una particolare menzione l'incremento degli standard di sicurezza per come già descritti nella parte iniziale della presente relazione con la conseguente riduzione del numero degli incidenti e dei relativi costi sociali;

La fattibilità economica va pensata in ambito globale, non solo in termini strettamente finanziari, in quanto la previsione della diminuzione del numero di incidenti, la diminuzione dei tempi di percorrenza, la maggiore facilità per raggiungere le varie destinazioni, l'incremento della fluidità della circolazione, una migliore organizzazione delle attività portuali e ferroviarie, la semplificazione del collegamento della zona del Picchianti all'area portuale, la diminuzione del numero di mezzi pesanti circolanti in ambito urbano, lo stimolo all'uso della pista ciclabile, comportano un serie di vantaggi anche economici a vantaggio dell'intera collettività.

Tali vantaggi anche se facilmente individuabili, sono, in questa sede e per gli scopi del presente lavoro di tesi, difficilmente quantificabili vista l'eterogeneità, la complessità e l'elevata mole dei soggetti coinvolti.

BIBLIOGRAFIA

- T. Esposito, R. Mauro. *Fondamenti di infrastrutture viarie Vol.1 "La geometria stradale"*, Hevelius Edizioni, 2003.

- T. Esposito, R. Mauro. *Fondamenti di infrastrutture viarie Vol.2 "La progettazione funzionale delle strade"*, Hevelius Edizioni, 2003.

- S. Canale, N. Distefano, S. Leonardi, G. Pappalardo. *Progettare le intersezioni "Tecniche per la progettazione e la verifica in ambito urbano ed extraurbano secondo il D.M. 19/4/2006"*, EPC libri, 2011.

- Piano Regolatore Portuale del Porto di Livorno 2012, Progettisti:
  - *Modimar S.r.l. Prof. Ing. Alberto Noli;*
  - *Technital S.p.a.;*
  - *Sciro Bureau Veritas S.p.a.;*
  - *Acquatecno S.r.l..*

- Bortolotti L., *"Livorno dal 1748 al 1958"*, Leo S. Olsehki Editore, Firenze 1977.

- Fallanca De Blasio C. a cura, *"Luoghi dello scambio e città del mediterraneo, storie, culture, progetti",* Liriti editore, Reggio Calabria 2007.

- Massa M. a cura, *"Città portuali e territorio in Toscana",* Edizioni ETS, Pisa 2004.

- Matteoni D., *"Le città nella storia d'Italia. Livorno",* Laterza - Bari 1985.

- Matteoni D., Livorno. *"La costruzione di un'immagne. I palazzi di città",* Silvani Editore, Milano 1999.

- Piombanti G., *"Guida storica ed artistica della città e dei dintorni di Livorno",* G. Marini Editore, Livorno 1903.

- Previti M., *"Largo cerchio di muro, e facili barriere: le Mura Lorenesi a Livorno, 1835-1842",* in "CN Comune Notizie", n. 38, aprile-giugno 2002.

- Talà P., M. De Luca, *"Le mura intorno: sulla traccia delle antiche fortificazioni di Livorno",* Pontedera 2000.

- Regione Toscana, Piano di Indirizzo Territoriale (PIT).

- Provincia di Livorno, Piano di Coordinamento Provinciale (PTC).

- Comune di Livorno, Piano Strutturale.

- Comune di Livorno, Regolamento Urbanistico.

ALLEGATI

- Flussi di traffico trasmessi dall'Ufficio Trasporti della Provincia di Livorno.

- Flussi di traffico trasmessi dall'Ufficio Mobilità Urbana del Comune di Livorno.

- Elaborati grafici:

-Tavola 1: Corografia;

-Tavola 2: Stralcio del Piano Regolatore Portuale del Porto di Livorno;

-Tavola 3: Planimetria di progetto;

-Tavola 4: Profili longitudinali;

-Tavola 5: Sezione longitudinale del viadotto;

-Tavola 6: Sezioni tipo;

-Tavola 7: Booklet delle sezioni.

Indagine di traffico - Relazione di sintesi

Sezione: 99 Comune: Livorno
Via / strada: Via Leonardo da Vinci
Localizzazione: Livorno
Coordinate Gauss-Boaga: Est 1606533.665; Nord 4821335.153
Direzione: Centro
Rilievo iniziato martedì 4 giugno 2002 mediante Nu-Metrics NC-97 n° 2424
Intervallo di rilievo: 15'

E' stata condotta un'indagine di traffico veicolare sulla sezione n. 99 con una unità HI-STAR. L'indagine è stata eseguita nel comune di Livorno sulla via/strada Via Leonardo da Vinci, localizzata Livorno, direzione Centro. L'indagine è durata 14 ore ed ha avuto inizio alle ore 07:00 di martedì 4 giugno 2002 ed è terminata alle ore 21:00 dello stesso giorno. I dati sono stati registrati ad intervalli di 15 minuti.

Il volume totale di traffico registrato nelle 14h è pari a 10443 veicoli transitati con un volume massimo su base 15' di 294 veicoli alle ore 17:15 e su base oraria di 1077 alle 17:00; il volume minimo registrato su base 15' è di 89 veicoli alle ore 20:45 e su base oraria di 480 alle 20:00.

L'ora di punta mattutina sulla base delle 95 sezioni indagate fra il 16 maggio e il 6 giugno 2002, risulta essere alle 7:45. In corrispondenza di tale ora è stato rilevato un volume di 790 veicoli; analogamente, nell'ora di punta pomeridiana sulla rete, che risulta essere alle 12:00, si ha un volume di 734 veicoli. Infine alle 18:00, ora di punta serale, sono stati rilevati 912 veicoli.

VELOCITA'
La tabella 1 elenca i limiti superiori delle 15 classi di velocità e il totale di veicoli classificati relativi ad ogni classe.

Tabella 1

Classi di velocità [km/h]

8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	97	105	113	121
0	956	2597	2410	1913	1114	478	230	133	45	37	44	29	27	113

Il 10,2% dei veicoli viaggiava ad una velocità superiore al limite di 50 km/h. La velocità media dei veicoli su base 14h è di 32,4 km/h e l'85° percentile è di 45,5 km/h.

LUNGHEZZE
La tabella 2 elenca i limiti superiori delle 8 classi di lunghezza e il totale di veicoli classificati relativi ad ogni classe.

Tabella 2

Classi di lunghezza [m]

4.6	5.2	7	11	12.2	16.8	18.3	24.4
7744	905	737	196	373	56	82	33

Il 92,7% dei veicoli classificati è costituito da veicoli leggeri (di cui 16,2% veicoli commerciali) per un totale di 9386 veicoli. I veicoli industriali isolati (lunghezza compresa tra 7,0 m e 11,0 m) costituiscono l' 1,9%, gli autobus (11,0-12,2 m) 3,7%, i veicoli pesanti combinati (autoarticolati, autosnodati ed autotreni con lunghezza superiore ai 12,2 m) 1,7%.

DISTANZIAMENTO

Durante l'intervallo di punta di 15', alle 17:15, il distanziamento medio tra i veicoli era di 3,06 secondi; durante l'intervallo di morbida di 15', alle 20:45, il distanziamento medio tra i veicoli era di 10,11 secondi.

CONDIZIONI CLIMATICHE
L'HI-STAR ha rilevato condizioni di superficie stradale ASCIUTTA durante il 100% del periodo dello studio, con temperature comprese tra i 22° e 40°.

Planimetria con ubicazione della postazione di rilievo

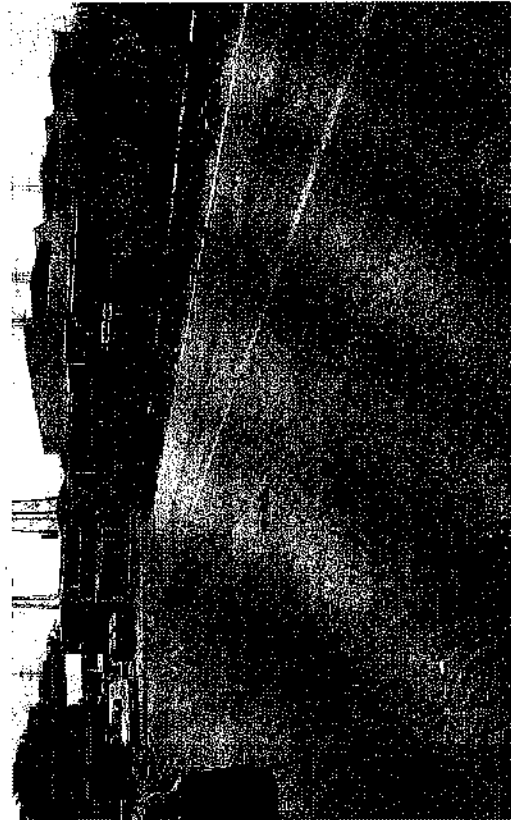
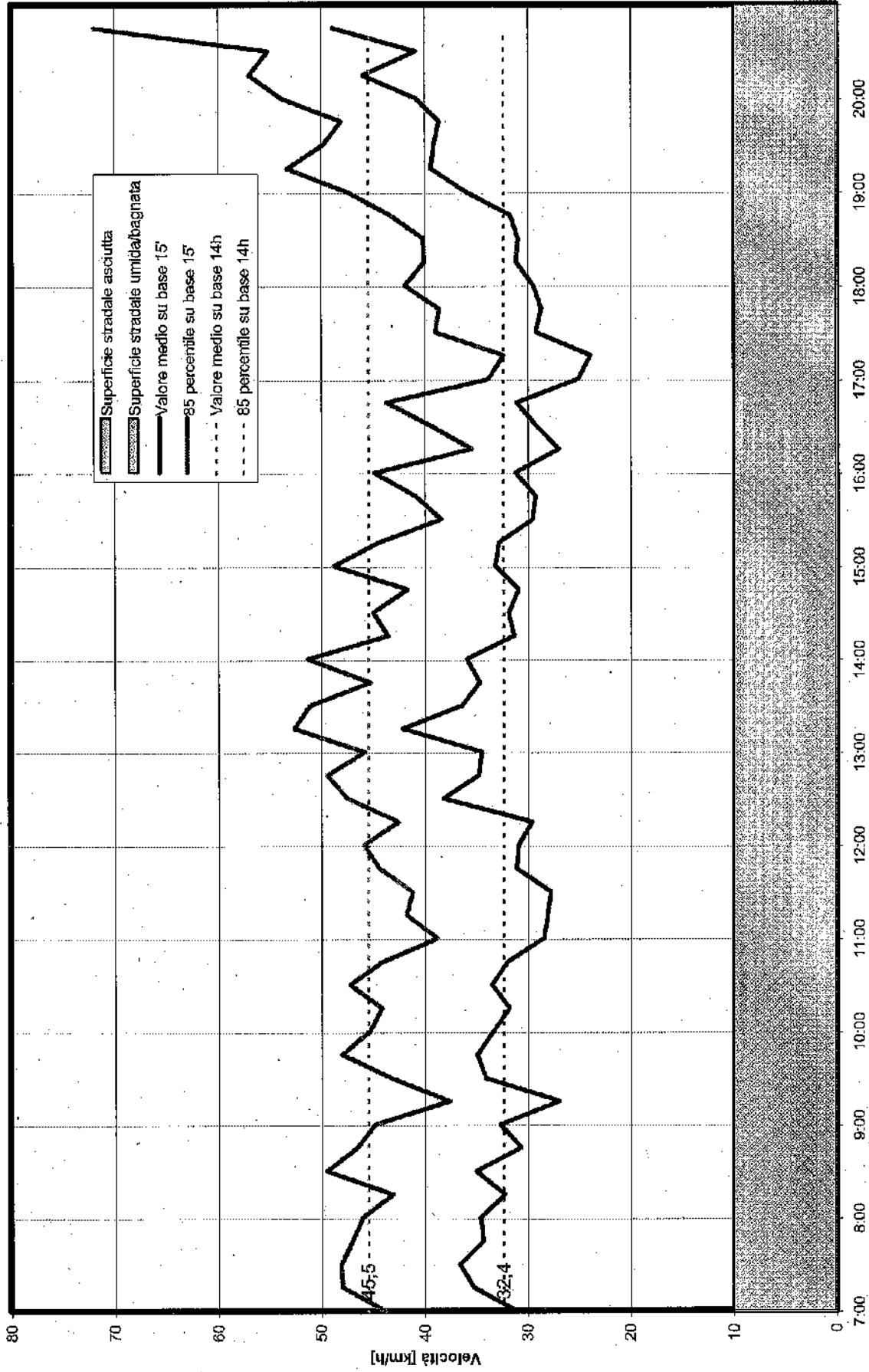



Illustrazione fotografica della postazione di rilievo (direzione centro)

Comune di Livorno | Sezione n. 99
Strada/via: Via Leonardo da Vinci
Localizzazione: Livorno
Direzione: Centro
Rilievo iniziato martedì 4 giugno 2002 mediante Nu-Metrics NC-97 n. 2424; intervallo di rilievo: 15'

inizio intervallo		veicoli rilevati	flusso orario	
ora	giorno	in 15'	su base 15'	su base 1h
7:00	04/06/2002	117	468	660
7:15	04/06/2002	133	532	761
7:30	04/06/2002	188	752	832
7:45	04/06/2002	212	848	790
8:00	04/06/2002	228	912	756
8:15	04/06/2002	204	816	726
8:30	04/06/2002	146	584	730
8:45	04/06/2002	190	760	768
9:00	04/06/2002	188	752	782
9:15	04/06/2002	206	824	763
9:30	04/06/2002	204	816	742
9:45	04/06/2002	184	736	706
10:00	04/06/2002	169	675	726
10:15	04/06/2002	185	740	740
10:30	04/06/2002	168	672	732
10:45	04/06/2002	204	816	782
11:00	04/06/2002	183	732	761
11:15	04/06/2002	177	708	818
11:30	04/06/2002	218	872	831
11:45	04/06/2002	203	812	782
12:00	04/06/2002	220	880	734
12:15	04/06/2002	190	760	679
12:30	04/06/2002	168	678	615
12:45	04/06/2002	155	620	574
13:00	04/06/2002	165	660	574
13:15	04/06/2002	126	504	564
13:30	04/06/2002	128	512	594
13:45	04/06/2002	155	620	633

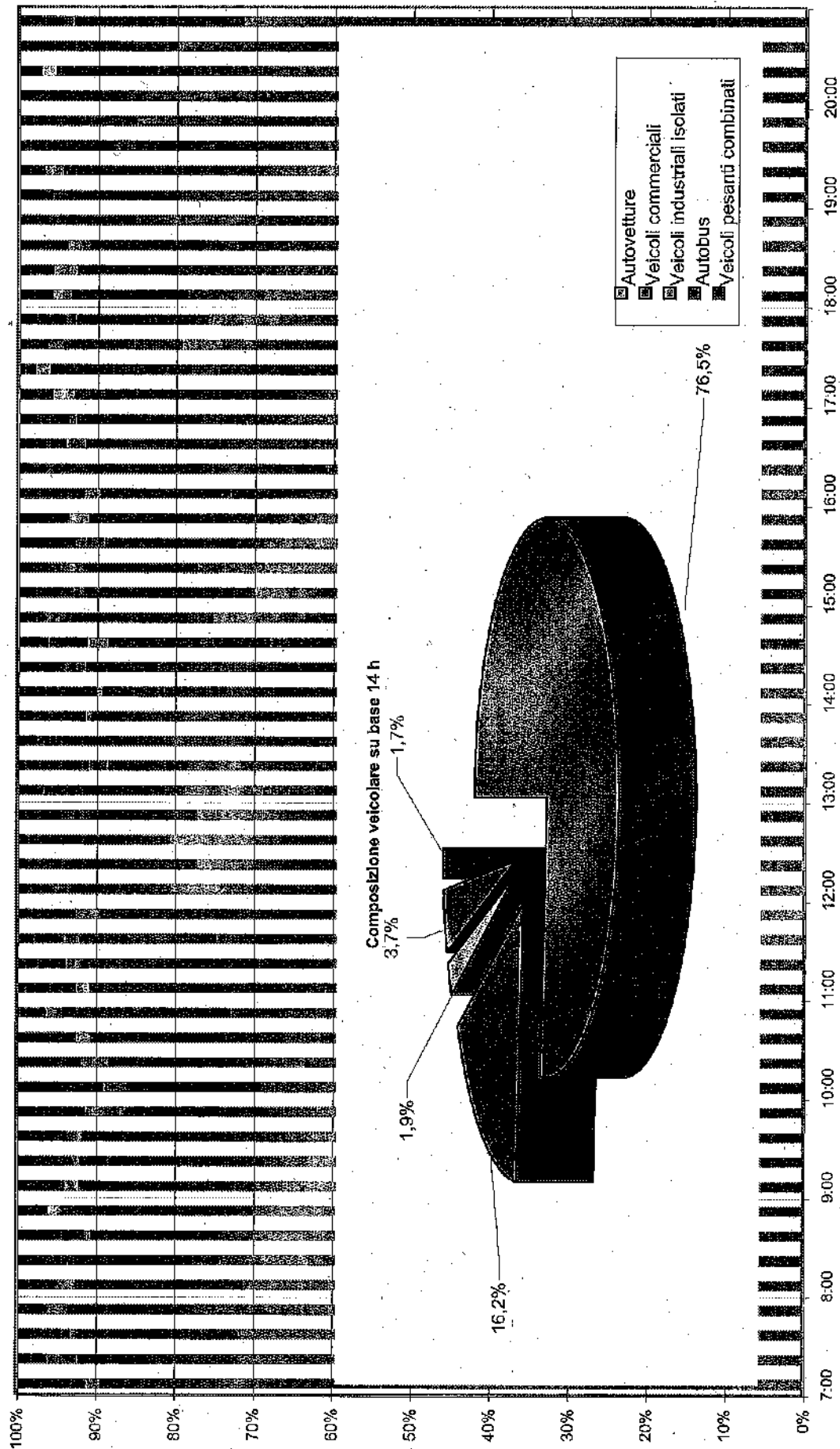
inizio intervallo		veicoli rilevati	flusso orario	
ora	giorno	in 15'	su base 15'	su base 1h
14:00	04/06/2002	155	620	662
14:15	04/06/2002	156	624	687
14:30	04/06/2002	167	668	705
14:45	04/06/2002	184	736	728
15:00	04/06/2002	180	720	739
15:15	04/06/2002	174	696	759
15:30	04/06/2002	190	760	830
15:45	04/06/2002	195	780	819
16:00	04/06/2002	200	800	840
16:15	04/06/2002	245	980	911
16:30	04/06/2002	179	716	950
16:45	04/06/2002	216	864	1047
17:00	04/06/2002	271	1084	1077
17:15	04/06/2002	294	1176	1032
17:30	04/06/2002	266	1064	983
17:45	04/06/2002	246	984	936
18:00	04/06/2002	226	904	912
18:15	04/06/2002	245	980	905
18:30	04/06/2002	219	876	826
18:45	04/06/2002	222	888	768
19:00	04/06/2002	219	876	718
19:15	04/06/2002	165	660	665
19:30	04/06/2002	152	608	610
19:45	04/06/2002	182	728	573
20:00	04/06/2002	166	664	480
20:15	04/06/2002	110	440	0
20:30	04/06/2002	115	460	0
20:45	04/06/2002	89	356	0

TOTALE nelle 14 h 10449 veicoli

flusso veicolare orario

inizio intervallo di rilievo

su base 15'
su base 1h

Velocità media - 85 percentile

Composizione veicolare percentuale cumulata

Indagine di traffico - Relazione di sintesi

Sezione: 100 Comune: Livorno

Via / strada: Via Leonardo da Vinci

Localizzazione: Livorno

Coordinate Gauss-Boaga: Est 1606533.665; Nord 4821335.153

Direzione: Tirrenia

Rilievo iniziato martedì 4 giugno 2002 mediante Nu-Metrics NC-97 n° 2399

Intervallo di rilievo: 15'

E' stata condotta un'indagine di traffico veicolare sulla sezione n. 100 con una unità HI-STAR. L'indagine è stata eseguita nel comune di Livorno sulla via/strada Via Leonardo da Vinci, localizzata Livorno, direzione Tirrenia. L'indagine è durata 14 ore ed ha avuto inizio alle ore 07:00 di martedì 4 giugno 2002 ed è terminata alle ore 21:00 dello stesso giorno. I dati sono stati registrati ad intervalli di 15 minuti.

Il volume totale di traffico registrato nelle 14h è pari a 9748 veicoli transitati con un volume massimo su base 15' di 263 veicoli alle ore 7:30 e su base oraria di 943 alle 7:30; il volume minimo registrato su base 15' è di 77 veicoli alle ore 20:45 e su base oraria di 398 alle 20:00.

L'ora di punta mattutina sulla base delle 95 sezioni indagate fra il 16 maggio e il 6 giugno 2002, risulta essere alle 7:45. In corrispondenza di tale ora è stato rilevato un volume di 925 veicoli; analogamente, nell'ora di punta pomeridiana sulla rete, che risulta essere alle 12:00, si ha un volume di 565 veicoli. Infine alle 18:00, ora di punta serale, sono stati rilevati 708 veicoli.

VELOCITA'

La tabella 1 elenca i limiti superiori delle 15 classi di velocità e il totale di veicoli classificati relativi ad ogni classe.

Tabella 1

Classi di velocità [km/h]

8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	97	105	113	121
0	1846	3043	1963	1103	574	350	167	89	64	38	25	31	26	84

L' 8,5% dei veicoli viaggiava ad una velocità superiore al limite di 50 km/h. La velocità media dei veicoli su base 14h è di 28,2 km/h e l'85° percentile è di 40,7 km/h.

LUNGHEZZE

La tabella 2 elenca i limiti superiori delle 8 classi di lunghezza e il totale di veicoli classificati relativi ad ogni classe.

Tabella 2

Classi di lunghezza [m]

4.6	5.2	7	11	12.2	16.8	18.3	24.4
6978	695	830	236	504	63	88	29

Il 90,2% dei veicoli classificati è costituito da veicoli leggeri (di cui 16,2% veicoli commerciali) per un totale di 8503 veicoli. I veicoli industriali isolati (lunghezza compresa tra 7,0 m e 11,0 m) costituiscono il 2,5%, gli autobus (11,0-12,2 m) 5,3%; i veicoli pesanti combinati (autoarticolati, autosnodati ed autotreni con lunghezza superiore ai 12,2 m) 1,9%.

DISTANZIAMENTO

Durante l'intervallo di punta di 15', alle 7:30, il distanziamento medio tra i veicoli era di 3,42 secondi; durante l'intervallo di morbida di 15', alle 20:45, il distanziamento medio tra i veicoli era di 11,69 secondi.

CONDIZIONI CLIMATICHE

L'HI-STAR ha rilevato condizioni di superficie stradale ASCIUTTA durante il 100% del periodo dello studio, con temperature comprese tra i 22° e 39°.

Planimetria con ubicazione della postazione di rilievo

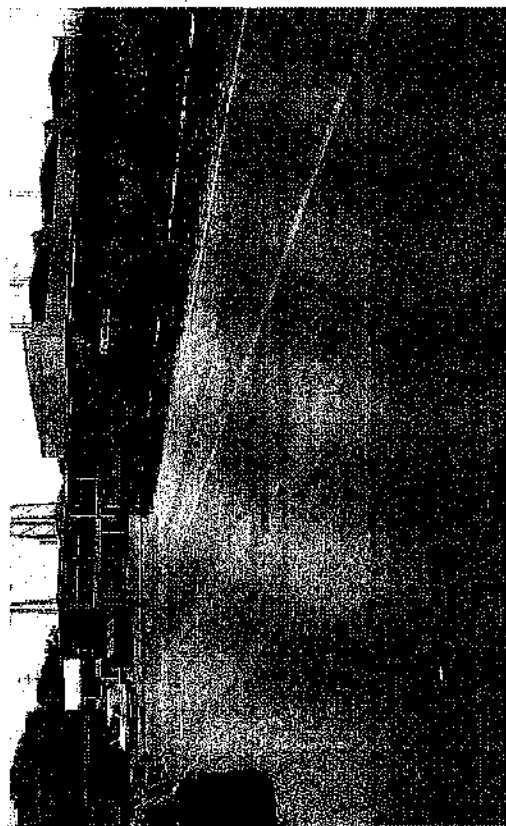



Illustrazione fotografica della postazione di rilievo (direzione centro)

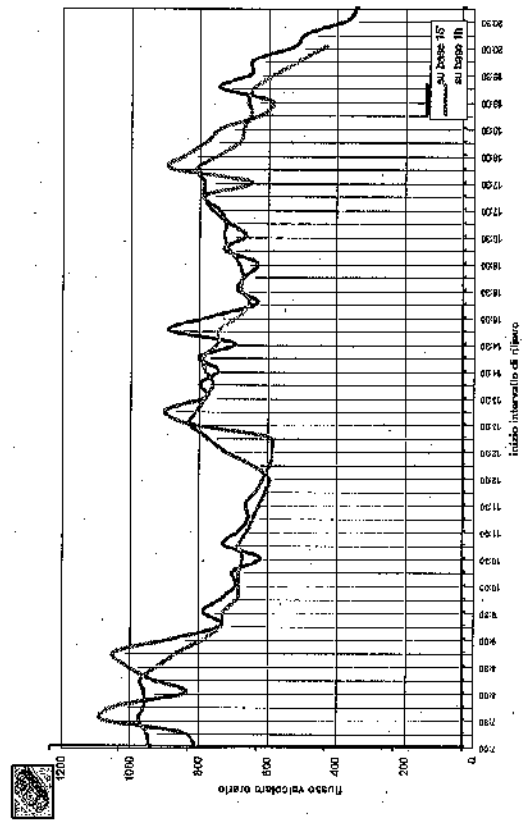
Comune di Livorno Sezione n. 100

Strada/via: Via Leonardo da Vinci

Localizzazione: Livorno

Direzione: Tirrenia

Rilievo iniziato martedì 4 giugno 2002 mediante Nu-Metrics NC-97 n. 2399; intervallo di rilievo: 15'

inizio intervallo		veicoli rilevati	flusso orario	
ora	giorno	in 15'	su base 15'	su base 1h
7:00	04/06/2002	194	776	912
7:15	04/06/2002	203	812	919
7:30	04/06/2002	263	1052	943
7:45	04/06/2002	252	1008	925
8:00	04/06/2002	201	804	926
8:15	04/06/2002	227	908	935
8:30	04/06/2002	245	980	883
8:45	04/06/2002	253	1012	827
9:00	04/06/2002	210	840	749
9:15	04/06/2002	175	700	704
9:30	04/06/2002	189	756	696
9:45	04/06/2002	175	700	654
10:00	04/06/2002	165	660	653
10:15	04/06/2002	167	668	651
10:30	04/06/2002	147	588	640
10:45	04/06/2002	174	696	651
11:00	04/06/2002	163	652	627
11:15	04/06/2002	156	624	609
11:30	04/06/2002	158	632	593
11:45	04/06/2002	150	600	574
12:00	04/06/2002	145	580	585
12:15	04/06/2002	140	560	620
12:30	04/06/2002	139	556	697
12:45	04/06/2002	141	564	746
13:00	04/06/2002	200	800	706
13:15	04/06/2002	217	868	779
13:30	04/06/2002	187	748	748
13:45	04/06/2002	191	764	727

inizio intervallo		veicoli rilevati	flusso orario	
ora	giorno	in 15'	su base 15'	su base 1h
14:00	04/06/2002	178	712	750
14:15	04/06/2002	192	768	755
14:30	04/06/2002	186	744	713
14:45	04/06/2002	214	856	711
15:00	04/06/2002	183	732	656
15:15	04/06/2002	160	600	622
15:30	04/06/2002	164	656	648
15:45	04/06/2002	158	632	640
16:00	04/06/2002	150	600	653
16:15	04/06/2002	174	696	661
16:30	04/06/2002	158	632	695
16:45	04/06/2002	171	684	691
17:00	04/06/2002	178	712	733
17:15	04/06/2002	188	752	756
17:30	04/06/2002	164	618	754
17:45	04/06/2002	213	852	776
18:00	04/06/2002	201	804	708
18:15	04/06/2002	186	744	647
18:30	04/06/2002	175	700	638
18:45	04/06/2002	146	584	617
19:00	04/06/2002	140	560	624
19:15	04/06/2002	177	708	607
19:30	04/06/2002	154	616	544
19:45	04/06/2002	153	612	474
20:00	04/06/2002	123	492	398
20:15	04/06/2002	114	456	0
20:30	04/06/2002	84	336	0
20:45	04/06/2002	77	308	0

TOTALE nelle 14 h 9748 veicoli

flusso veicolare orario

1200 1000 800 600 400 200 0

7:00 7:30 8:00 8:30 9:00 9:30 10:00 10:30 11:00 11:30 12:00 12:30 13:00 13:30 14:00 14:30 15:00 15:30 16:00 16:30 17:00 17:30 18:00 18:30 19:00 19:30 20:00 20:30

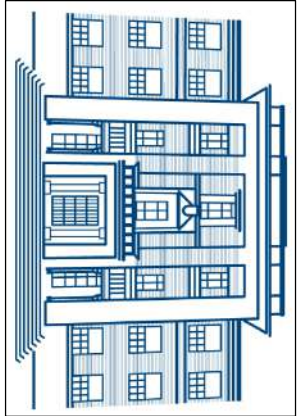
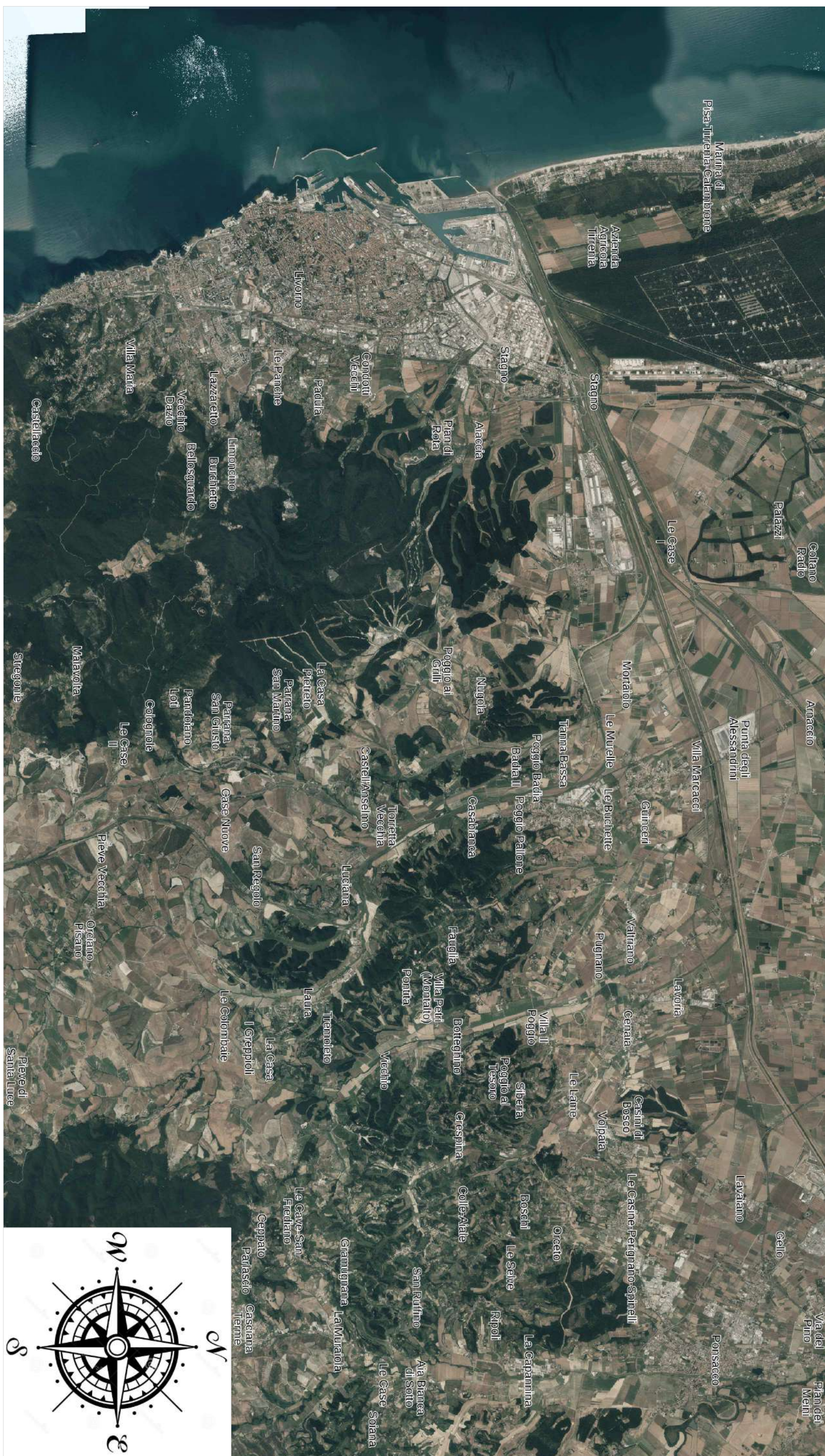
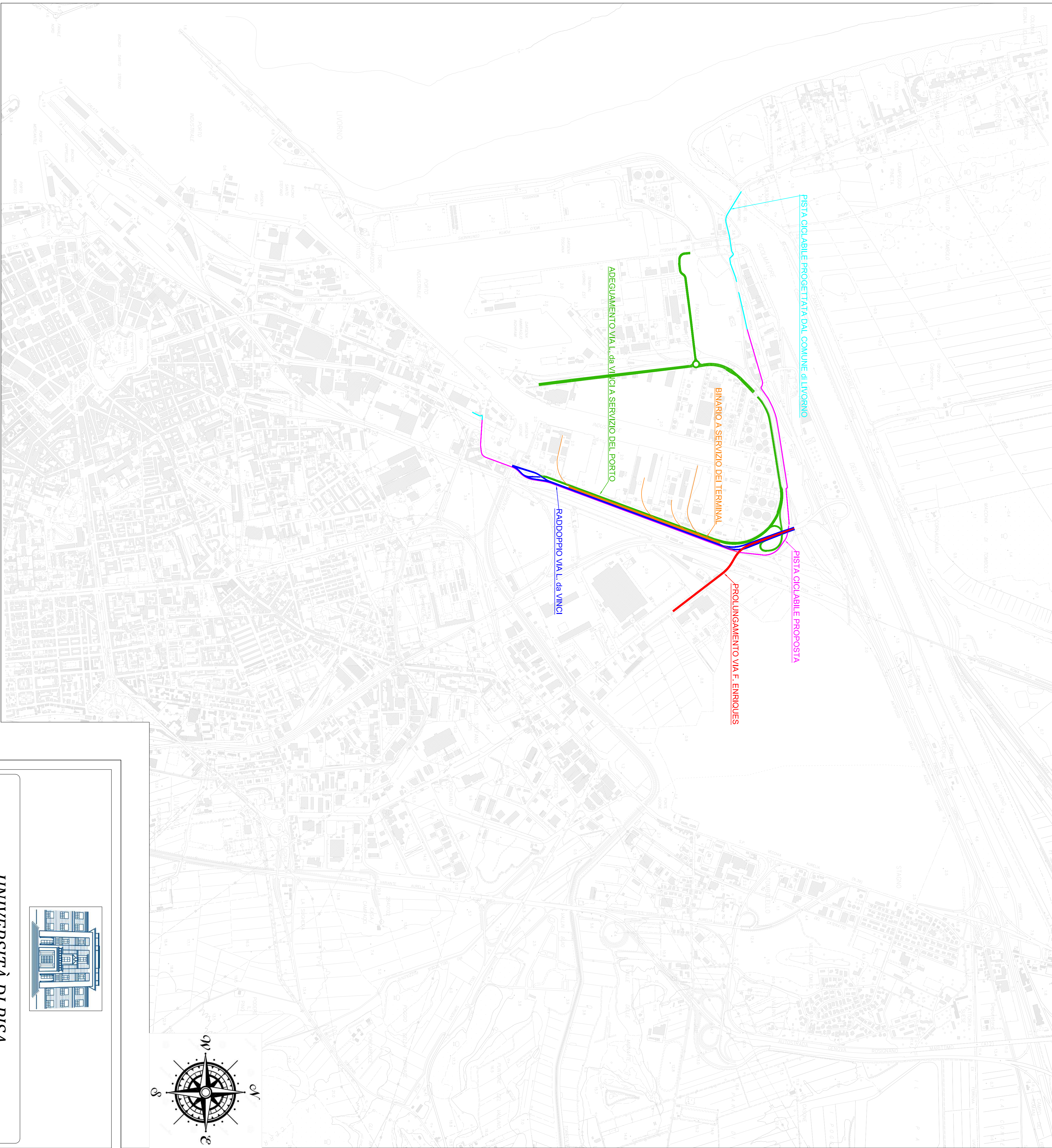
inizio intervallo di rilievo

su base 15'
su base 1h

Velocità media - 85 percentile
60
50
40
30
20
10
0
Velocità [km/h]
40,7
28,2
7:00
8:00
9:00
10:00
11:00
12:00
13:00
14:00
15:00
16:00
17:00
18:00
19:00
20:00
Superficie stradale asciutta
Superficie stradale umida/bagnata
Valore medio su base 15'
85 percentile su base 15'
Valore medio su base 14h
85 percentile su base 14h

Composizione veicolare percentuale cumulata
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
7:00
8:00
9:00
10:00
11:00
12:00
13:00
14:00
15:00
16:00
17:00
18:00
19:00
20:00
Composizione veicolare su base 14 h
5,3%
1,9%
2,5%
16,2%
74,1%
Autovetture
Veicoli commerciali
Veicoli industriali isolati
Autobus
Veicoli pesanti combinati

Martedì	Provincia di Livorno - U.O. "PROGRAMMAZIONE TRASPORTI, SERVIZI TPL, ALBO AUTOTRASPORTATORI"																							
14-apr-15	Corsia 1, verso FI-PI-LI												Corsia 2, verso Livorno,											
Data ora	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Classe 7	Classe 8	Classe 9	Classe 10	OMOG.	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Classe 7	Classe 8	Classe 9	Classe 10	OMOG.
classe eq.		*0,50*	*1,00*	*1,00*	*1,00*	*1,50*	*1,50*	*2,00*	*2,00*	*2,00*				*0,50*	*1,00*	*1,00*	*1,00*	*1,50*	*1,50*	*2,00*	*2,00*	*2,00*		
14/04/2015 07:00	0	0	19	0	4	1	0	0	6	0	0	**36,50**	0	0	22	6	0	0	0	0	0	0	0	**28,00**
14/04/2015 07:05	0	1	31	0	5	2	0	0	7	0	0	**53,50**	0	0	28	4	0	0	0	0	0	0	0	**32,00**
14/04/2015 07:10	0	1	38	0	2	0	1	1	4	0	0	**52,00**	0	0	22	2	0	0	0	0	0	0	0	**24,00**
14/04/2015 07:15	0	1	46	0	2	1	0	0	5	0	0	**60,00**	0	0	31	8	0	0	0	0	0	0	0	**39,00**
TOTALE 15'												**165,50**												**95,00**
14/04/2015 07:20	0	0	36	0	1	1	0	0	2	0	0	**42,50**	0	0	27	4	0	0	0	0	0	0	2	**31,00**
14/04/2015 07:25	0	0	23	0	0	1	2	0	9	2	0	**49,50**	0	0	24	14	0	0	0	0	0	0	1	**38,00**
14/04/2015 07:30	0	0	34	0	7	0	4	0	21	0	0	**89,00**	0	0	39	6	0	0	0	0	0	0	0	**45,00**
TOTALE 15'												**181,00**												**114,00**
14/04/2015 07:35	0	0	48	0	7	2	2	0	7	0	0	**75,00**	0	0	40	13	0	0	0	0	0	0	0	**53,00**
14/04/2015 07:40	0	2	52	1	8	2	2	0	3	0	0	**74,00**	0	0	42	14	0	0	0	0	0	0	0	**56,00**
14/04/2015 07:45	0	0	64	0	11	0	1	0	6	0	0	**88,50**	0	1	49	7	0	0	0	0	0	0	2	**56,50**
TOTALE 15'												**237,50**												**165,50**
14/04/2015 07:55	0	0	72	0	0	0	0	0	7	2	0	**90,00**	0	2	45	12	0	0	0	0	0	0	1	**58,00**
14/04/2015 08:00	0	0	47	0	7	1	2	1	8	0	0	**76,50**	0	0	35	13	0	0	0	0	0	0	0	**48,00**
TOTALE 15'												**166,50**												**106,00**
14/04/2015 08:05	0	0	37	0	5	0	0	0	5	0	0	**52,00**	0	0	41	9	0	0	0	0	0	0	0	**50,00**
14/04/2015 08:10	0	0	46	0	2	0	1	0	9	0	0	**67,50**	0	0	47	10	0	0	0	0	0	0	0	**57,00**
14/04/2015 08:15	0	1	43	0	1	0	2	0	9	0	0	**65,50**	0	0	35	12	0	0	0	0	0	0	2	**47,00**
TOTALE 15'												**185,00**												**154,00**
14/04/2015 08:20	0	0	43	0	2	0	0	0	5	0	0	**55,00**	0	0	46	5	0	0	0	0	0	0	0	**51,00**
14/04/2015 08:25	0	0	35	0	2	3	0	0	3	0	0	**47,50**	0	1	48	16	0	0	0	0	0	0	0	**64,50**
14/04/2015 08:30	0	0	46	0	5	0	2	0	6	0	0	**66,00**	0	1	50	9	0	0	0	0	0	0	0	**59,50**
TOTALE 15'												**168,50**												**175,00**
14/04/2015 08:35	0	1	35	0	4	1	1	0	8	1	0	**60,50**	0	1	43	13	0	0	0	0	0	0	1	**56,50**
14/04/2015 08:40	0	0	32	0	2	1	0	0	7	0	0	**49,50**	0	2	56	9	0	0	0	0	0	0	0	**66,00**
14/04/2015 08:45	0	1	45	0	9	0	2	1	10	0	0	**79,50**	0	1	41	14	0	0	0	0	0	0	1	**55,50**
TOTALE 15'												**189,50**												**178,00**
14/04/2015 08:50	0	0	28	0	4	1	3	0	11	0	0	**60,00**	0	0	46	18	0	0	0	0	0	0	0	**64,00**
14/04/2015 08:55	0	0	43	1	10	2	0	0	8	0	0	**73,00**	0	0	51	6	0	0	0	0	0	0	0	**57,00**
14/04/2015 09:00	0	0	21	0	2	1	0	1	7	0	0	**40,50**	0	0	40	7	0	0	0	0	0	0	0	**47,00**
TOTALE 15'												**173,50**												**168,00**
14/04/2015 17:00	0	0	39	0	2	0	1	0	6	0	0	**53,00**	0	0	5	41	0	0	0	0	0	0	10	**46,00**
14/04/2015 17:05	0	0	36	0	1	0	0	1	7	0	0	**53,00**	0	0	4	31	0	0	0	0	0	0	12	**35,00**
14/04/2015 17:10	0	0	37	0	9	0	1	1	8	0	0	**65,50**	0	0	6	44	0	0	0	0	0	0	13	**50,00**
14/04/2015 17:15	0	1	36	0	6	0	0	0	4	0	0	**50,50**	0	1	4	52	0	0	0	0	0	0	12	**56,50**
TOTALE 15'												**169,00**												**141,50**
14/04/2015 17:20	0	0	35	0	3	1	0	1	5	0	0	**51,50**	0	0	6	44	0	0	0	0	0	0	13	**50,00**
14/04/2015 17:25	0	0	41	0	6	0	0	1	8	0	0	**65,00**	0	0	7	51	0	0	0	0	0	0	12	**58,00**
14/04/2015 17:30	0	0	26	0	6	1	2	0	5	0	0	**46,50**	0	0	9	28	0	0	0	0	0	0	8	**37,00**
TOTALE 15'												**163,00**												**145,00**
14/04/2015 17:35	0	0	35	0	4	0	0	1	7	1	0	**57,00**	0	0	6	38	0	0	0	0	0	0	10	**44,00**
14/04/2015 17:40	0	1	28	0	3	0	1	0	6	0	0	**45,00**	0	0	16	17	0	0	0	0	0	0	1	**33,00**
14/04/2015 17:45	0	0	33	0	2	0	1	0	10	0	0	**56,50**	0	0	48	12	0	0	0	0	0	0	3	**60,00**
TOTALE 15'												**158,50**												**137,00**
14/04/2015 17:50	0	0	38	0	1	0	1	0	5	0	0	**50,50**	0	0	48	17	0	0	0	0	0	0	1	**65,00**
14/04/2015 17:55	0	0	47	0	3	0	0	0	7	0	0	**64,00**	0	0	50	10	0	0	0	0	0	0	0	**60,00**
14/04/2015 18:00	0	0	33	0	0	0	1	0	3	0	0	**40,50**	0	1	53	11	0	0	0	0	0	0	0	**64,50**
TOTALE 15'												**155,00**												**189,50**
14/04/2015 18:05	0	0	45	0	2	0	0	0	7	0	0	**61,00**	0	1	48	8	0	0	0	0	0	0	1	**56,50**
14/04/2015 18:10	0	0	38	0	2	0	1	0	11	1	0	**65,50**	0	1	53	6	0	0	0	0	0	0	0	**59,50**
14/04/2015 18:15	0	0	35	0	4	0	0	0	4	0	0	**47,00**	0	1	44	8	0	0	0	0	0	0	0	**52,50**
TOTALE 15'												**173,50**												**168,50**
14/04/2015 18:20	0	0	37	0	6	0	0	0	2	0	0	**47,00**	0	2	42	8	0	0	0	0	0	0	0	**51,00**
14/04/2015 18:25	0	0	34	0	0	0	0	0	4	0	0	**42,00**	0	1	44	8	0	0	0	0	0	0	0	**52,50**
14/04/2015 18:30	0	0	25	0	5	0	0	0	4	0	0	**38,00**	0	0	45	9	0	0	0	0	0	0	0	**54,00**
TOTALE 15'												**127,00**												**157,50**
14/04/2015 18:35	0	1	29	0	4	0	1	0	2	0	0	**39,00**	0	2	36	2	0	0	0	0	0	0	1	**39,00**
14/04/2015 18:40	0	0	41	0	2	2	0	0	6	0	0	**58,00**	0	1	43	4	0	0	0	0	0	0	0	**47,50**
14/04/2015 18:45	0	0	47	0	4	0	0	0	2	0	0	**55,00**	0	0	49	10	0	0	0	0	0	0	0	**59,00**
TOTALE 15'												**152,00**												**145,50**
14/04/2015 18:50	0	0	35	0	1	0	0	0	2	0	0	**40,00**	0	0	41	8	0	0	0	0	0	0	0	**49,00**
14/04/2015 18:55	0	0	35	0	4	0	1	0	1	0	0	**42,50**	0	2	45	5	0	0	0	0	0	0	0	**51,00**
14/04/2015 19:00	0	0	29	0	1	0	0	1	6	0	0	**44,00**	0	0	37	4	0	0	0	0	0	0	0	**41,00**
TOTALE 15'												**126,50**												**141,00**

Giovedì	Provincia di Livorno - U.O. "PROGRAMMAZIONE TRASPORTI, SERVIZI TPL, ALBO AUTOTRASPORTATORI"																							
16-apr-15	Corsia 1, verso FI-PI-LI												Corsia 2, verso Livorno,											
Data ora	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Classe 7	Classe 8	Classe 9	Classe 10	OMOG.	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Classe 7	Classe 8	Classe 9	Classe 10	OMOG.
classe eq.		*0,50*	*1,00*	*1,00*	*1,00*	*1,50*	*1,50*	*2,00*	*2,00*	*2,00*				*0,50*	*1,00*	*1,00*	*1,00*	*1,50*	*1,50*	*2,00*	*2,00*	*2,00*		
16/04/2015 07:00	0	0	27	0	1	0	1	0	2	0	0	**33,50**	0	0	19	6	0	0	0	0	0	0	0	**25,00**
16/04/2015 07:05	0	1	30	0	1	0	1	1	4	0	0	**43,00**	0	0	16	11	0	0	0	0	0	0	0	**27,00**
16/04/2015 07:10	0	3	26	0	0	0	0	1	7	0	0	**43,50**	0	0	37	4	0	0	0	0	0	0	0	**41,00**
16/04/2015 07:15	0	3	45	0	4	0	1	0	2	1	0	**58,00**	0	0	31	5	0	0	0	0	0	0	0	**36,00**
TOTALE 15'												**144,50**												**104,00**
16/04/2015 07:20	0	0	23	0	2	3	1	0	1	0	0	**33,00**	0	0	26	8	0	0	0	0	0	0	0	**34,00**
16/04/2015 07:25	0	0	37	0	1	3	0	1	7	0	0	**58,50**	0	0	27	8	0	0	0	0	0	0	0	**35,00**
16/04/2015 07:30	0	2	39	0	3	0	0	0	15	1	0	**75,00**	0	0	40	10	0	0	0	0	0	0	1	**50,00**
TOTALE 15'												**166,50**												**119,00**
16/04/2015 07:35	0	1	50	0	8	2	1	1	8	0	0	**81,00**	0	0	40	9	0	0	0	0	0	0	0	**49,00**
16/04/2015 07:40	0	0	84	0	9	2	1	0	7	0	0	**111,50**	0	0	46	3	0	0	0	0	0	0	1	**49,00**
16/04/2015 07:45	0	0	63	0	5	1	2	0	8	1	0	**90,50**	0	0	51	16	0	0	0	0	0	0	1	**67,00**
TOTALE 15'												**283,00**												**165,00**
16/04/2015 07:50	0	2	63	0	8	0	1	1	3	0	0	**81,50**	0	0	59	12	0	0	0	0	0	0	2	**71,00**
16/04/2015 07:55	0	0	52	0	2	0	1	0	5	0	0	**65,50**	0	0	32	12	0	0	0	0	0	0	0	**44,00**
16/04/2015 08:00	0	0	37	0	3	1	0	2	8	2	0	**65,50**	0	0	40	14	0	0	0	0	0	0	1	**54,00**
TOTALE 15'												**212,50**												**169,00**
16/04/2015 08:05	0	0	47	0	3	3	0	0	5	0	0	**64,50**	0	0	50	17	0	0	0	0	0	0	0	**67,00**
16/04/2015 08:10	0	0	35	0	4	0	1	1	4	0	0	**50,50**	0	0	45	11	0	0	0	0	0	0	0	**56,00**
16/04/2015 08:15	0	0	40	0	2	0	1	0	8	1	0	**61,50**	0	0	46	14	0	0	0	0	0	0	2	**60,00**
TOTALE 15'												**176,50**												**183,00**
16/04/2015 08:20	0	0	34	0	3	1	0	0	6	1	0	**52,50**	0	0	42	8	0	0	0	0	0	0	1	**50,00**
16/04/2015 08:25	0	0	46	0	1	1	3	1	9	2	0	**77,00**	0	0	40	14	0	0	0	0	0	0	0	**54,00**
16/04/2015 08:30	0	0	42	0	8	0	0	0	3	2	0	**60,00**	0	1	54	11	0	0	0	0	0	0	0	**65,50**
TOTALE 15'												**189,50**												**169,50**
16/04/2015 08:35	0	0	34	0	4	2	2	0	11	5	0	**76,00**	0	0	52	9	0	0	0	0	0	0	1	**61,00**
16/04/2015 08:40	0	0	34	0	5	0	2	1	9	5	0	**72,00**	0	0	60	9	0	0	0	0	0	0	1	**69,00**
16/04/2015 08:45	0	0	44	0	10	0	4	0	8	1	0	**78,00**	0	2	47	16	0	0	0	0	0	0	0	**64,00**
TOTALE 15'												**226,00**												**194,00**
16/04/2015 08:50	0	1	43	0	3	0	1	0	18	6	0	**96,00**	0	1	48	10	0	0	0	0	0	0	1	**58,50**
16/04/2015 08:55	0	0	38	0	4	4	0	1	13	3	0	**82,00**	0	0	51	10	0	0	0	0	0	0	0	**61,00**
16/04/2015 09:00	0	1	37	0	0	1	1	1	8	4	0	**66,50**	0	0	42	8	0	0	0	0	0	0	0	**50,00**
TOTALE 15'												**244,50**												**169,50**
16/04/2015 17:00	0	0	37	0	2	0	1	1	7	0	0	**56,50**	0	0	1	7	0	0	0	0	0	0	0	**8,00**
16/04/2015 17:05	0	0	46	0	4	0	0	0	9	1	0	**70,00**	0	0	5	6	0	0	0	0	0	0	0	**11,00**
16/04/2015 17:10	0	0	33	0	1	0	2	0	4	0	0	**45,00**	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	**6,00**
16/04/2015 17:15	0	0	49	0	3	0	1	2	3	0	0	**63,50**	0	0	4	6	0	0	0	0	0	0	0	**10,00**
TOTALE 15'												**178,50**												**27,00**
16/04/2015 17:20	0	0	29	0	4	0	0	1	3	1	0	**43,00**	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	**6,00**
16/04/2015 17:25	0	1	49	0	3	0	1	0	12	0	0	**78,00**	0	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	**12,00**
16/04/2015 17:30	0	0	40	0	2	1	2	1	4	2	0	**60,50**	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	**4,00**
TOTALE 15'												**181,50**												**22,00**
16/04/2015 17:35	0	0	28	1	3	0	0	0	5	3	0	**48,00**	0	0	3	11	0	0	0	0	0	0	0	**14,00**
16/04/2015 17:40	0	0	45	0	6	1	0	0	10	2	0	**76,50**	0	0	2	5	0	0	0	0	0	0	0	**7,00**
16/04/2015 17:45	0	0	55	0	1	0	0	0	4	1	0	**66,00**	0	0	2	8	0	0	0	0	0	0	0	**10,00**
TOTALE 15'												**190,50**												**31,00**
16/04/2015 17:50	0	0	27	0	4	0	1	0	5	0	0	**42,50**	0	0	25	9	0	0	0	0	0	0	3	**34,00**
16/04/2015 17:55	0	0	29	0	5	0	4	0	7	2	0	**58,00**	0	0	47	19	0	0	0	0	0	0	1	**66,00**
16/04/2015 18:00	0	0	38	0	5	0	2	1	2	7	0	**66,00**	0	0	52	14	0	0	0	0	0	0	1	**66,00**
TOTALE 15'												**166,50**												**166,00**
16/04/2015 18:05	0	0	48	0	3	1	0	0	4	1	0	**62,50**	0	0	65	9	0	0	0	0	0	0	1	**74,00**
16/04/2015 18:10	0	0	40	0	7	0	0	0	4	5	0	**65,00**	0	1	64	8	0	0	0	0	0	0	0	**72,50**
16/04/2015 18:15	0	0	36	0	2	0	0	1	3	3	0	**52,00**	0	0	36	8	0	0	0	0	0	0	1	**44,00**
TOTALE 15'												**179,50**												**190,50**
16/04/2015 18:20	0	0	29	0	1	1	1	1	2	4	0	**47,00**	0	0	41	4	0	0	0	0	0	0	0	**45,00**
16/04/2015 18:25	0	0	50	0	1	0	1	0	9	2	0	**74,50**	0	1	32	10	0	0	0	0	0	0	0	**42,50**
16/04/2015 18:30	0	1	42	0	3	0	0	0	2	1	0	**51,50**	0	0	52	1	0	0	0	0	0	0	0	**53,00**
TOTALE 15'												**173,00**												**140,50**
16/04/2015 18:35	0	0	51	0	3	0	1	0	5	0	0	**65,50**	0	2	61	2	0	0	0	0	0	0	1	**64,00**
16/04/2015 18:40	0	0	46	0	4	0	0	1	3	0	0	**58,00**	0	2	35	3	0	0	0	0	0	0	0	**39,00**
16/04/2015 18:45	0	0	37	0	2	0	0	2	3	0	0	**49,00**	0	0	45	7	0	0	0	0	0	0	0	**52,00**
TOTALE 15'												**172,50**												**155,00**
16/04/2015 18:50	0	0	37	0	2	1	0	0	5	1	0	**52,50**	0	0	34	1	0	0	0	0	0	0	1	**35,00**
16/04/2015 18:55	0	1	26	0	3	2	0	0	0	0	0	**32,50**	0	0	34	5	0	0	0	0	0	0	1	**39,00**
16/04/2015 19:00	0	0	29	0	1	0	0	0	5	0	0	**40,00**	0	0	50	4	0	0	0	0	0	0	0	**54,00**
TOTALE 15'												**125,00**												**128,00**

COROGRAFIA 1 : 5 000
PROLUNGAMENTO VIA F. ENRIQUES
BINARIO A SERVIZIO DEI TERMINAL
ADEGUAMENTO VIA L. da VINCI A SERVIZIO DEL PORTO
RADDOPPIO VIA L. da VINCI
PISTA CICLABILE PROPOSTA
PISTA CICLABILE PROGETTATA DAL COMUNE di LIVORNO
PISTA CICLABILE PROGETTATA DAL COMUNE di LIVORNO
MARE TIRRENO
COROGRAFIA 1 : 10 000
PISTA CICLABILE PROGETTATA DAL COMUNE di LIVORNO
PISTA CICLABILE PROPOSTA
PROLUNGAMENTO VIA F. ENRIQUES
BINARIO A SERVIZIO DEI TERMINAL
ADEGUAMENTO VIA L. da VINCI A SERVIZIO DEL PORTO
RADDOPPIO VIA L. da VINCI
COROGRAFIA 1 : 50 000
UNIVERSITÀ DI PISA
SCUOLA di INGEGNERIA
Laurea Magistrale in Ingegneria Idraulica, dei Trasporti e del Territorio
Studio della riorganizzazione funzionale della viabilità di accesso al Porto Industriale di Livorno
Elaborato: Corografia
scala: varie
Relatore: Prof. Ing. Massimo Losa
Tav.: 1
Relatore: Ing. Pietro Marini
Studente: Gioacchino Gennusa
anno accademico 2014/2015

UNIVERSITÀ DI PISA

SCUOLA di INGEGNERIA

Laurea Magistrale in Ingegneria Idraulica, dei Trasporti e del Territorio

Studio della riorganizzazione funzionale della viabilità di accesso al Porto Industriale di Livorno

Elaborato: Stralcio del P.R.P.	scala: 1 : 10 000
Relatore: Prof. Ing. Massimo Losa	Tav.: 2
Relatore: Ing. Pietro Marini	
Studente: Gioacchino Gennusa	anno accademico 2014/2015

PASSAGGIO A LIVELLO
BARRIERA DI CONTROLLO IN USCITA
PISTA CICLABILE PROPOSTA
AREA DI SOSTA
NUOVA USCITA DAL PORTO
NEW JERSEY per la separazione dei flussi entranti da quelli interni al porto
PISTA CICLABILE PROGETTATA DAL COMUNE di LIVORNO
BARRIERA DI CONTROLLO IN ENTRATA
PROLUNGAMENTO VIA F. ENRIQUES
BINARIO A SERVIZIO DEI TERMINAL
AREA DI SOSTA
BARRIERA DI CONTROLLO IN ENTRATA ED USCITA
ADEGUAMENTO VIA L. da VINCI A SERVIZIO DEL PORTO
BARRIERA DI CONTROLLO IN ENTRATA ED IN USCITA
RADDOPPIO VIA L. da VINCI
A
B
C
UNIVERSITÀ DI PISA
SCUOLA di INGEGNERIA
Laurea Magistrale in Ingegneria Idraulica, dei Trasporti e del Territorio
Studio della riorganizzazione funzionale della viabilità di accesso al Porto Industriale di Livorno
Elaborato:Planimetria di progetto
scala 1 : 2 000
Relatore: Prof. Ing. Massimo Losa
Tav.: 3
Relatore: Ing. Pietro Marini
Studente: Gioacchino Gennusa
anno accademico 2014/2015

Sezione longitudinale: Prolungamento via Enriques
Via Aurelia
SP
30,00
46,00
50,00
Barriera di sicurezza per bordo ponte H2
Terreno
7,00
Fascio binari Stazione di Calambrone
5,30
Raddoppio via L. da Vinci
Rampa in entrata: tratto BC
Rampa in uscita: tratto CB
S.G.C. FI-PI-LI
Viadotto esistente
UNIVERSITÀ DI PISA
SCUOLA di INGEGNERIA
Laurea Magistrale in Ingegneria Idraulica, dei Trasporti e del Territorio
Studio della riorganizzazione funzionale della viabilità di accesso al Porto Industriale di Livorno
Elaborato:Sezione longitudinale
scala 1 : 2 000
Relatore: Prof. Ing. Massimo Losa
Relatore: Ing. Pietro Marini
Tav.:
5
Studente: Gioacchino Gennusa
anno accademico 2014/2015

UNIVERSITÀ DI PISA

SCUOLA di INGEGNERIA

Laurea Magistrale in Ingegneria Idraulica, dei Trasporti e del Territorio

Studio della riorganizzazione funzionale della viabilità di accesso al Porto Industriale di Livorno

Elaborato: Sezioni tipo	*scala 1 : 100*
Relatore: Prof. Ing. Massimo Losa	*Tav.:* 6
Relatore: Ing. Pietro Marini	
Studente: Gioacchino Gennusa	*anno accademico 2014/2015*

UNIVERSITÀ DI PISA

SCUOLA di INGEGNERIA

Laurea Magistrale in Ingegneria Idraulica, dei Trasporti e del Territorio

Studio della riorganizzazione funzionale della viabilità di accesso al Porto Industriale di Livorno

Elaborato: Booklet delle sezioni

scala 1 : 200

Relatore: Prof. Ing. Massimo Losa

Relatore: Ing. Pietro Marini

Tav.: 7

Studente: Gioacchino Gennusa

anno accademico 2014/2015

PROFILO RADDOPPIO

SEZIONE AB3

PROGRESSIVA 100.00

-9

200

200

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00	14.50	19.06	20.00
PARZIALI TERRENO	34.50	4.56	0.94	
QUOTE TERRENO	2.29	2.18	2.21	2.21

PROGRESSIVE PROGETTO	-6.47	-6.00	-4.50	-3.50	0.00	3.50	4.45	5.05	7.80	8.45	9.05
PARZIALI PROGETTO	0.47	1.50	1.00	3.50	3.50	0.95	0.60	2.75	0.65	0.60	
QUOTE PROGETTO	2.25	2.56	2.46	2.32	2.41	2.32	2.44	2.44	2.35	2.60	2.20

PROFILO RADDOPPIO

SEZIONE AB4

PROGRESSIVA 150.00

-9

200

200

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00	5.52	15.46	20.00
PARZIALI TERRENO	25.52	9.94	4.54	
QUOTE TERRENO	2.42	2.38	2.55	2.55

PROGRESSIVE PROGETTO	-5.91	-4.50	-3.50	0.00	3.50	4.45	5.05	7.80	8.27
PARZIALI PROGETTO	1.41	1.00	3.50	3.50	0.95	0.60	2.75	0.47	
QUOTE PROGETTO	2.40	2.38	2.24	2.33	2.24	2.36	2.36	2.26	2.43

PROFILO RADDOPPIO

SEZIONE AB8

PROGRESSIVA 350.00

-10

200

200

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00	-5.70									20.00
PARZIALI TERRENO	14.30				25.70						
QUOTE TERRENO	1.10	2.14									2.23
PROGRESSIVE PROGETTO		-5.97	-4.50	-3.50	0.00	3.50	4.45	5.05	7.80	8.36	
PARZIALI PROGETTO		1.47	1.00	3.50	3.50	0.95	0.60	2.75	0.56		
QUOTE PROGETTO		2.12	2.04	1.90	1.99	1.90	2.02	2.02	1.92	2.19	

PROFILO RADDOPPIO

SEZIONE AB16

PROGRESSIVA 750.00

-9

200

200

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00	-19.30		-7.83											20.00
PARZIALI TERRENO	0.70		11.47					27.83							
QUOTE TERRENO	2.43	2.44		2.43											2.36
PROGRESSIVE PROGETTO					-5.96	-4.50	-3.50	0.00	3.50	4.45	5.05	7.80	8.25		
PARZIALI PROGETTO					1.46	1.00	3.50	3.50	0.95	0.60	2.75	0.45			
QUOTE PROGETTO					2.42	2.35	2.22	2.30	2.22	2.33	2.33	2.24	2.39		

PROFILO RADDOPPIO

SEZIONE AB18

PROGRESSIVA 850.00

-9

200

200

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00	-17.90	-4.55	6.14	20.00
PARZIALI TERRENO	2.10	13.35	10.69	13.86	
QUOTE TERRENO	2.22	2.22	2.30	2.30	2.30

PROGRESSIVE PROGETTO	-6.51	-6.00	-4.50	-3.50	0.00	3.50	4.45	5.05	7.80	8.45	9.00
PARZIALI PROGETTO	0.51	1.50	1.00	3.50	3.50	0.95	0.60	2.75	0.65	0.55	
QUOTE PROGETTO	2.29	2.63	2.53	2.39	2.48	2.39	2.51	2.51	2.42	2.67	2.30

PROFILO RADDOPPIO

SEZIONE AB19

PROGRESSIVA 900.00

-9

200

200

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00	-18.06													20.00
PARZIALI TERRENO	1.94	38.06													
QUOTE TERRENO	2.29	2.30													2.30
PROGRESSIVE PROGETTO			-6.63	-6.00	-4.50	-3.50	0.00	3.50	4.45	5.05	7.80	8.45	9.13		
PARZIALI PROGETTO			0.63	1.50	1.00	3.50	3.50	0.95	0.60	2.75	0.65	0.68			
QUOTE PROGETTO			2.30	2.72	2.62	2.48	2.57	2.48	2.60	2.60	2.51	2.75	2.30		

PROFILO RADDOPPIO

SEZIONE AB20

PROGRESSIVA 950.00

−9

200

200

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00	-10.33													20.00
PARZIALI TERRENO	9.67	30.33													
QUOTE TERRENO	2.30	2.30													2.34
PROGRESSIVE PROGETTO			-6.75	-6.00	-4.50	-3.50	0.00	3.50	4.45	5.05	7.80	8.45	9.23		
PARZIALI PROGETTO			0.75	1.50	1.00	3.50	3.50	0.95	0.60	2.75	0.65	0.78			
QUOTE PROGETTO			2.30	2.81	2.71	2.57	2.66	2.57	2.69	2.69	2.59	2.84	2.32		

PROFILO ENR

SEZIONE 4

PROGRESSIVA 150.00

−10

200

200

PROGRESSIVE TERRENO	−20.00					−0.38						18.50	20.00
PARZIALI TERRENO	19.62					18.88						1.50	
QUOTE TERRENO	1.63					1.54						1.49	1.48

PROGRESSIVE PROGETTO	−7.81	−5.35	−4.50	−3.50	0.00	3.50	4.50	5.35	7.90
PARZIALI PROGETTO	2.46	0.85	1.00	3.50	3.50	1.00	0.85	2.55	
QUOTE PROGETTO	1.57	3.22	3.12	3.14	3.23	3.14	3.12	3.22	1.52

PROFILO RAMPA ENTRATA

SEZIONE BC1

PROGRESSIVA 0.00

−9

200

200

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00	20.00							
PARZIALI TERRENO	40.00								
QUOTE TERRENO	2.25	2.34							
PROGRESSIVE PROGETTO	-2.89	-2.21	-1.36	-0.36	4.00	5.00	5.99	6.67	7.49
PARZIALI PROGETTO	0.68	0.85	1.00	4.36	1.00	0.99	0.68	0.82	
QUOTE PROGETTO	2.29	2.74	2.64	2.70	3.01	3.08	3.13	2.86	2.31

PROFILO RAMPA ENTRATA

SEZIONE BC2

PROGRESSIVA 36.36

-9

200

200

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00	-5.02	20.00
PARZIALI TERRENO	14.98	25.02	
QUOTE TERRENO	2.23	2.20	2.22

PROGRESSIVE PROGETTO	-3.62	-2.22	-1.37	-0.37	4.00	5.00	5.99	6.66	8.24
PARZIALI PROGETTO	1.40	0.85	1.00	4.37	1.00	0.99	0.67	1.58	
QUOTE PROGETTO	2.20	3.14	3.04	3.11	3.41	3.48	3.53	3.26	2.21

PROFILO RAMPA ENTRATA

SEZIONE BC3

PROGRESSIVA 50.00

-9

200

200

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00	-8.98										20.00
PARZIALI TERRENO	11.02	28.98										
QUOTE TERRENO	2.32	2.29										2.26
PROGRESSIVE PROGETTO			-4.06	-2.22	-1.37	-0.37	4.00	5.00	5.99	6.66	8.71	
PARZIALI PROGETTO			1.84	0.85	1.00	4.37	1.00	0.99	0.67	2.05		
QUOTE PROGETTO			2.29	3.52	3.42	3.49	3.79	3.86	3.91	3.64	2.27	

PROFILO RAMPA ENTRATA
SEZIONE BC7
PROGRESSIVA 150.00
-9
200
200
PROGRESSIVE TERRENO
-20.00
10.57
18.55
20.00
PARZIALI TERRENO
30.57
7.98
1.45
QUOTE TERRENO
2.51
3.08
3.29
3.21
PROGRESSIVE PROGETTO
-9.72
-1.85
-1.00
0.00
4.00
5.00
5.99
6.67
13.23
PARZIALI PROGETTO
7.87
0.85
1.00
4.00
1.00
0.99
0.68
6.56
QUOTE PROGETTO
2.70
7.95
7.85
7.87
7.77
7.75
7.80
7.53
3.15

PROFILO RAMPA ENT-USC PORTO

SEZIONE 1

PROGRESSIVA 00.00

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00	18.14												11.47		20.00
PARZIALI TERRENO	1.86		29.61												8.53	
QUOTE TERRENO	2.62	2.64												3.07		4.20
PROGRESSIVE PROGETTO			-4.70	-1.85	-1.00	0.00	4.64	5.64	6.63	7.31	9.02					
PARZIALI PROGETTO			2.85	0.85	1.00	4.64	1.00	0.99	0.68	1.71						
QUOTE PROGETTO			2.84	4.73	4.63	4.60	4.43	4.39	4.44	4.17	3.03					

PROFILO RAMPA ENT–USC PORTO

SEZIONE 3

PROGRESSIVA 50.00

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00	18.14												11.47		20.00
PARZIALI TERRENO	1.86		29.61											8.53		
QUOTE TERRENO	2.62	2.64												3.07		4.20
PROGRESSIVE PROGETTO			-4.70	-1.85	-1.00	0.00		4.64	5.64	6.63	7.31	9.02				
PARZIALI PROGETTO			2.85	0.85	1.00	4.64		1.00	0.99	0.68	1.71					
QUOTE PROGETTO			2.84	4.73	4.63	4.60		4.43	4.39	4.44	4.17	3.03				

PROFILO RAMPA ENT-USC PORTO
SEZIONE 5
PROGRESSIVA 100.00
-8
200
200
PROGRESSIVE TERRENO
-20.00
-7.33
11.04
12.42
15.68
20.00
PARZIALI TERRENO
12.67
18.37
1.38
3.26
4.32
QUOTE TERRENO
2.91
3.07
3.43
3.46
3.61
3.82
PROGRESSIVE PROGETTO
-6.23
-1.85
-1.00
0.00
4.64
5.64
6.63
7.31
10.37
PARZIALI PROGETTO
4.38
0.85
1.00
4.64
1.00
0.99
0.68
3.06
QUOTE PROGETTO
3.10
6.02
5.92
5.88
5.71
5.68
5.73
5.46
3.42

PROFILO RAMPA ENT–USC PORTO

SEZIONE 7

PROGRESSIVA 150.00

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00									7.68		13.15		20.00
PARZIALI TERRENO	27.68										5.47		6.85	
QUOTE TERRENO	3.26									3.57		3.99		4.26
PROGRESSIVE PROGETTO		-7.70		-1.85	-1.00	0.00		5.06	6.06	7.05	7.73	11.85		
PARZIALI PROGETTO			5.85	0.85	1.00	5.06		1.00	0.99	0.68	4.12			
QUOTE PROGETTO		3.40		7.30	7.20	7.17		6.90	6.85	6.90	6.64	3.89		

PROFILO RAMPA ENT-USC PORTO

SEZIONE 9

PROGRESSIVA 200.00

-8

200

200

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00		-9.64						5.79					10.50			20.00
PARZIALI TERRENO		10.36		15.43						4.71					9.50		
QUOTE TERRENO	2.88		3.39						4.28					4.54			4.53
PROGRESSIVE PROGETTO			-9.71		-1.85	-1.00	0.00		5.67		6.67	7.66	8.33			13.22	
PARZIALI PROGETTO				7.86	0.85	1.00		5.67		1.00	0.99	0.67		4.89			
QUOTE PROGETTO			3.39		8.63	8.53	8.46		8.08		8.01	8.06	7.80			4.54	

PROFILO RAMPA ENT–USC PORTO

SEZIONE 10

PROGRESSIVA 225.00

−7

200

200

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00		8.15										10.85		20.00
PARZIALI TERRENO	11.85			19.00										9.15	
QUOTE TERRENO	3.59		4.55										5.12		4.85
PROGRESSIVE PROGETTO		9.76			1.85	1.00	0.00	4.77	5.77	6.76	7.44			13.52	
PARZIALI PROGETTO			7.91		0.85	1.00	4.77	1.00	0.99	0.68		6.08			
QUOTE PROGETTO		4.42			9.69	9.59	9.57	9.36	9.32	9.37	9.10			5.04	

PROFILO RAMPA ENT–USC PORTO

SEZIONE 11

PROGRESSIVA 237.13

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00		-3.36							6.43			20.00
PARZIALI TERRENO	16.64			9.79							13.57		
QUOTE TERRENO	4.01		5.31							5.55			5.12
PROGRESSIVE PROGETTO		-9.95		-1.85	-1.00	0.00	4.12	5.12	6.11	6.79		13.45	
PARZIALI PROGETTO		8.10		0.85	1.00	4.12	1.00	0.99	0.68		6.66		
QUOTE PROGETTO		4.79		10.19	10.09	10.12	10.01	9.99	10.04	9.77		5.33	

PROFILO RAMPA USCITA

SEZIONE CB6

PROGRESSIVA 239.37

−9

200

200

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00												9.39	20.00
PARZIALI TERRENO	29.39												10.61	
QUOTE TERRENO	2.39												2.42	2.35
PROGRESSIVE PROGETTO		-2.94	-1.85	-1.00	0.00	4.24	5.24	6.23	6.91	7.00				
PARZIALI PROGETTO		1.09	0.85	1.00	4.24	1.00	0.99	0.68	0.09					
QUOTE PROGETTO		2.40	3.13	3.03	2.98	2.75	2.70	2.75	2.48	2.41				

PROFILO RAMPA USCITA

SEZIONE CB8

PROGRESSIVA 269.22

-9

200

200

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00													15.96	18.77	20.00
PARZIALI TERRENO	35.96													2.81	1.23	
QUOTE TERRENO	2.22													2.21	2.20	2.20
PROGRESSIVE PROGETTO		-2.92	-1.85	-1.00	0.00		4.25	5.25	6.24	6.92	7.01					
PARZIALI PROGETTO		1.07	0.85	1.00	4.25		1.00	0.99	0.68	0.09						
QUOTE PROGETTO		2.22	2.93	2.83	2.77		2.55	2.49	2.54	2.27	2.21					

PROFILO RAMPA USCITA

SEZIONE CB9

PROGRESSIVA 299.07

-9

200

200

PROGRESSIVE TERRENO	-20.00	-15.39	20.00
PARZIALI TERRENO	4.61	35.39	
QUOTE TERRENO	2.32	2.32	2.26

PROGRESSIVE PROGETTO	-2.73	-1.85	-1.00	0.00	4.12	5.12	6.11	6.79	6.83
PARZIALI PROGETTO	0.88	0.85	1.00	4.12	1.00	0.99	0.68	0.04	
QUOTE PROGETTO	2.29	2.88	2.78	2.73	2.51	2.46	2.51	2.24	2.28